

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO (UFES)**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**MARIANA DARÉ ARAUJO NEVES**

**A INFLUÊNCIA DAS SUPERFÍCIES VEGETADAS NO CONFORTO  
TÉRMICO: SIMULAÇÕES NO CENTRO DE VITÓRIA-ES**

VITÓRIA  
2017

**MARIANA DARÉ ARAUJO NEVES**

**A INFLUÊNCIA DAS SUPERFÍCIES VEGETADAS NO CONFORTO TÉRMICO:  
SIMULAÇÕES NO CENTRO DE VITÓRIA-ES**

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), como requisito para o Exame junto ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo/UFES.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniella do Amaral Mello Bonatto

VITÓRIA

2017

**MARIANA DARÉ ARAUJO NEVES**

**A INFLUÊNCIA DAS SUPERFÍCIES VEGETADAS NO CONFORTO TÉRMICO:  
SIMULAÇÕES NO CENTRO DE VITÓRIA-ES**

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), como requisito para o Exame junto ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo/UFES.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniella do Amaral Mello Bonatto

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniella do Amaral Mello  
Bonatto  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andréa Coelho Laranja  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dra. Cynthia Marconsini Loureiro  
Santos  
Universidade Vila Velha

## **AGRADECIMENTO**

Pelo saber transmitido, agradeço aos professores doutores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU- UFES: José Francisco Bernardino Freitas, Marina Dias, Martha Machado Campos e a Prof<sup>a</sup>. Dra. Daniella Bonatto, primeiramente por ter me aceitado como sua orientanda e pela dedicação e compreensão das minhas falhas na escrita e minhas insuficiências na arquitetura.

Às professoras Doutoradas Andréa Coelho Laranja e Cynthia Marconsini Loureiro Santos por terem participado da banca de qualificação com as orientações técnicas para chegar nos resultados.

À aluna de pesquisa científica, Thais de Souza, por ter me acompanhado no caminho da pesquisa com simulação e compartilhado dos trabalhosos dados para as simulações.

Ao fundador do software ENVI-met Dr. Michael Bruse que proporcionou apoio à pesquisa pelo fórum.

A secretária Juliete do PPGAU que sempre me mantinha informada sobre os prazos.

E, por fim, a Universidade Federal do Espírito Santo que possibilitou o caminho do conhecimento.

## RESUMO

Os danos causados ao ambiente natural intensificaram-se ao longo do processo de urbanização das cidades. Tais danos são resultantes do aumento populacional e do crescimento urbano espraiado sem um planejamento urbano adequado capaz de garantir a qualidade da ambiência urbana. Redução das áreas verdes e dos espaços livres públicos, formação de ilhas de calor, alagamentos constantes, perda de qualidade e da quantidade de água nos corpos hídricos são alguns dos problemas decorrentes desse contexto. Diante dessa problemática, diversas pesquisas direcionam-se à qualidade do ambiente urbano, ao conforto térmico e à mitigação de problemas bioclimáticos. Considerando que áreas verdes são fatores preponderantes para a amenização climática, este trabalho objetivou avaliar a capacidade de melhoria do microclima urbano e do conforto térmico pela influência dos telhados e paredes vegetadas, utilizando para o estudo uma área já consolidada e carente de vegetação, no Centro de Vitória – ES. A metodologia de pesquisa baseou-se na literatura sobre clima urbano, técnicas de aplicação de superfícies vegetadas no Brasil e no exterior e simulações no software Envi-met para aferir a influência dessas superfícies ao nível do pedestre. As simulações consideraram as variáveis climáticas como temperatura, umidade e velocidade dos ventos para fins de análise dos seus efeitos na configuração urbana delimitada. Os resultados demonstraram que a inserção da vegetação nas paredes construídas diminuiu até 4,3 °C na temperatura do ar e 02 pontos do PMV. A inserção da vegetação nos telhados pouco reduziu no nível do pedestre - 0,08 ° C e 0,03 pontos do PMV - dado os edifícios estudados serem altos, situação em que telhados verdes têm maior influência sobre a temperatura interna. As simulações demonstraram a eficiência das paredes verdes em melhorar o microclima urbano em área consolidada e que não teria capacidade de receber arborização urbana, sendo uma alternativa adequada e possível.

Palavras-chave: Superfícies vegetadas. Simulações. Conforto térmico. Qualidade urbana. Envi-met.

## **ABSTRACT**

Damages caused to the natural environment have been intensified throughout the urbanization process. These damages are the result of a scattered population and urban housing growth done without the adequate urban planning needed to guarantee the urban environment's quality. Reduction of green areas and public spaces, formation of heat islands, constant flooding, loss of quality and quantity of water in the water bodies are some of the problems arising from this context. Given this problem, several researches are directed to the quality of the urban environment, the thermal comfort and the mitigation of bioclimatic problems. Considering that green areas are a predominant factor for climatic variation, this study aimed to evaluate the improvement capacity of the urban microclimate and the thermal comfort by the influence of vegetation roofs and walls, using for the study an area already consolidated and devoid of vegetation, in the Center of Vitória - ES. The research methodology was developed based on the literature about the urban climate, application techniques of vegetated surfaces in Brazil and abroad and simulations in the Envi-met software to assess the influence of these surfaces at the pedestrian level. The simulations considered the climatic variables as temperature, humidity and velocity of the winds for analyzing their effects in the delimited urban configuration. The results showed that the vegetation insertion in the constructed walls decreased to 4.3 ° C in the air temperature and 02 points in the PMV. The insertion of vegetation on the roofs reduced little at the pedestrian level - 0.08 ° C and 0.03 points of the PMV - given the buildings studied were high, situation in which green roofs have greater influence on the internal temperature. The simulations demonstrated the efficiency of the green walls in improving the urban microclimate in a consolidated area and that would not have the capacity to receive urban afforestation, being a suitable and possible alternative.

**Keywords:** Green surfaces. Simulations. Thermal comfort. Urban quality. Envi-met.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Temperatura superficial dos materiais .....	31
Tabela 2- Índices de resistência térmica das principais peças de roupa.....	41
Tabela 3- Escala de sensação térmica .....	47
Tabela 4: Tabela de alturas.....	87
Tabela 5 - Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados para as coberturas .....	100
Tabela 6- Dados das variáveis climáticas .....	102
Tabela 7- Valores de dados climáticos para Vitória .....	102
Tabela 8: Dados de entrada do modelo .....	103
Tabela 9- Dados de entrada da grama.....	109
Tabela 10- Tabela Comparativa de Temperatura do ar .....	113
Tabela 11- Tabela Comparativa de Umidade relativa do ar .....	119
Tabela 12 - Tabela Comparativa de Velocidade do Vento .....	123
Tabela 13- Tabela Comparativa de MRT .....	127
Tabela 14- Tabela Comparativa de PMV .....	131
Tabela 15- Tabela Comparativa de Velocidade de PPD .....	136

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração do clima .....	23
Figura 2- Formação do clima urbano .....	25
Figura 3- Esquema das escalas climáticas proposto por Oke – Mesoescala.....	26
Figura 4- Esquema das escalas climáticas proposto por Oke – Escalas Local e Microclimática.....	26
Figura 5- Esquema de balanço térmico e hídrico .....	28
Figura 6- Albedo dos materiais urbanos.....	30
Figura 7- Impacto da radiação solar em diferentes configurações .....	32
Figura 8- Efeito da rugosidade sobre o perfil de velocidade dos ventos .....	33
Figura 9- Regime de escoamento de um cânion urbano.....	34
Figura 10- Regime de escoamento de um cânion urbano.....	34
Figura 11- Seção transversal generalizada de uma típica ilha térmica urbana .....	35
Figura 12 - Variáveis que atuam na formação de ilha de calor .....	36
Figura 13 - Processos de manutenção do equilíbrio térmico .....	40
Figura 14- Gráfico de relação dos índices PPD e PMV.....	48
Figura 15- A espécie arbórea e a radiação solar.....	54
Figura 16- Cobertura de turfa na Islândia.....	56
Figura 17- Arquitetura de Hundertwasser .....	57
Figura 18- Arquitetura de Hundertwasser .....	57
Figura 19- Proposta de megacidade tropical arrefecido por plantas .....	58
Figura 20 - Projeto do edifício 300 Lafayette Street .....	58
Figura 21- Classificação das paredes verdes de acordo com o tipo de tecnologia ...	60
Figura 22 - Fachada verde tradicional direto .....	60
Figura 23 - Corte esquemático – Fachada verde tradicional .....	60
Figura 24 - Sistema indireto de fachadas verdes indiretas.....	61
Figura 25 - Corte esquemático – Sistema Contínuo.....	61
Figura 26- Sistema de treliças modulares .....	61
Figura 27 - Sistema de fachada verde – Treliça no Edifício Seguro Nacional, Santiago - Chile.....	62
Figura 28 - Corte da fachada.....	62
Figura 29 - Sistema de paredes vivas com variedade de espécies - Edifício no Minhocão, São Paulo .....	63



Figura 30 - Corte esquemático do sistema com mantas. ....	63
Figura 31 - Mantas Geotêxteis – Av. 23 de Maio - São Paulo.....	63
Figura 32 - Paredes vivas em módulos de plástico .....	64
Figura 33 - Sistema modular .....	64
Figura 34 - Telhado Verde Extensivo, casas particulares, .....	67
Figura 35 - Telhado Recreativo, Museu, .....	67
Figura 36 - Telhado Recreativo – Praça do Papa, .....	68
Figura 37 - Telhado Verde Intensivo, Springer House, .....	68
Figura 38 - Telhado Verde Intensivo, Prefeitura e Edifício Particular, .....	69
Figura 39 - Vista frontal prédio da .....	69
Figura 40 - Rockefeller Center, Nova Iorque, EUA.....	71
Figura 41 - Localização da cidade de Vitória, ES.....	73
Figura 42- Áreas com vegetação no município de Vitória- ES. ....	74
Figura 43 - Mapa de uso do solo urbano de Vitória no ano de 2017. Em vermelho o bairro Centro. ....	75
Figura 44 - Mapa de Temperatura do Município de Vitória no ano de 2016 .....	76
Figura 45 - Área de estudo no Centro de Vitória.....	77
Figura 46 - Av. Jerônimo Monteiro em 1940 com os bondes participando da paisagem urbana. À esquerda, o Cine-teatro Glória, e à direita, o edifício do Banco Hipotecário e Agrícola. ....	78
Figura 47 – Isométrico de tipologia da área selecionada .....	78
Figura 48 - Gabarito da área selecionada. ....	79
Figura 49 - Trecho da Avenida Jerônimo Monteiro .....	80
Figura 50 - Trecho da Avenida Jerônimo .....	80
Figura 51: Rosa dos ventos para a cidade de Vitória.....	81
Figura 52 - Diagrama de insolação para o dia 15 de janeiro de 2016. ....	82
Figura 53 - Fachada das edificações da Avenida Jerônimo Monteiro .....	83
Figura 54 - Fachada das edificações da Avenida Jerônimo .....	84
Figura 55 - Fachada das edificações da Avenida.....	85
Figura 56 - Edificações com interesse em preservação .....	86
Figura 57 - Numeração das edificações.....	86
Figura 58: Vista da cobertura dos edifícios .....	88
Figura 59: Tipologias dos revestimentos horizontais.....	88
Figura 60 - Vista de cima para visualização das fachadas do lado direito .....	89

Figura 61 - Vista de cima para visualização das fachadas do lado esquerdo .....	90
Figura 62 - Testes com áreas menores.....	95
Figura 63 - Configuração final da área .....	95
Figura 64: Editor de criação do modelo da área.....	96
Figura 65: Editor de componentes do solo .....	97
Figura 66: Editor de componentes do solo com maior aproximação .....	97
Figura 67: Edição para inserção dos vidros nas paredes.....	98
Figura 68 - Edição das dimensões e componentes.....	99
Figura 69 - Propriedades térmicas dos materiais da parede .....	100
Figura 72 - Editor de dados – ENVI- met .....	104
Figura 73 - Cenário atual.....	105
Figura 74 - Cenário parede verde .....	106
Figura 75 - Configuração da área com telhado verde .....	107
Figura 76 - Gráfico de classificação de plantas.....	109
Figura 77 - Medidor de radiação em .....	110
Figura 76 - Editor de configuração de plantas.....	110
Figura 77 - Gráfico de Diferença média Percentual de Temperatura do ar.....	113
Figura 78 - Mapas de Temperatura do Ar - 9 horas .....	114
Figura 79 - Mapas de Temperatura do Ar - 15 horas .....	116
Figura 80: Mapas de Temperatura do Ar - 19 horas .....	117
Figura 81: Gráfico de Diferença média Percentual de Umidade Relativa do ar .....	119
Figura 82 - Mapa Umidade Relativa - 9 horas.....	120
Figura 83: Mapa Umidade Relativa - 15 horas .....	121
Figura 84: Mapa Umidade Relativa - 19 horas .....	122
Figura 85 - Gráfico de Diferença média Percentual de Velocidade do vento .....	123
Figura 86: Mapa velocidade de vento - 9 horas .....	124
Figura 87: Mapa velocidade de vento - 15 horas .....	125
Figura 88 - Mapa velocidade de vento - 19 horas .....	126
Figura 89: Gráfico de Diferença média Percentual de MRT para um.....	127
Figura 90 - Mapa de Temperatura Média Radiante - 9 horas.....	128
Figura 91 - Mapa de Temperatura Média Radiante - 15 horas.....	129
Figura 92 - Mapa de Temperatura Média Radiante - 19 horas.....	130
Figura 93 - Gráfico de Diferença média Percentual de PMV.....	132
Figura 94: Mapa PMV - 9 horas .....	132

Figura 95 - Mapa PMV - 15 horas .....	133
Figura 96: Mapa PMV - 19 horas .....	135
Figura 97 - Gráfico da Diferença média Percentual de PPD .....	136
Figura 98 - Mapa PPD - 9 horas.....	137
Figura 99 - Mapa PPD - 15 horas.....	138
Figura 100 - Mapa PPD - 19 horas.....	139

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1.	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS .....	15
<b>2.</b>	<b>ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E A QUALIDADE DO AMBIENTE URBANO.....</b>	<b>18</b>
2.1.	CLIMA.....	20
2.1.1.	O clima urbano.....	24
2.1.2.	Escalas Climáticas .....	26
2.1.3.	Fatores climáticos locais .....	27
2.1.4.	Dos Albedos .....	29
2.1.5.	Da Rugosidade.....	32
2.1.6.	Ilhas de calor .....	35
2.1.7.	Conforto térmico em espaços públicos abertos.....	39
2.1.8.	Índices de conforto térmico.....	49
2.2.	A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO MEIO URBANO .....	49
2.2.1.	Benefícios psicológicos da vegetação .....	51
2.2.2.	Benefícios da vegetação no clima urbano .....	53
2.2.3.	Superfícies vegetadas .....	55
2.2.4.	Sistema construtivo de telhados verdes .....	66
<b>3.</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>72</b>
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ZONA URBANA .....	73
3.1.1.	Delimitação da área de estudo .....	76
3.1.2.	Seleção de superfícies a serem vegetadas .....	83
3.2.	SIMULAÇÕES .....	91
3.2.1.	Configurações dos arquivos para simulação .....	93
3.2.2.	Cenários de modelagem .....	105
3.2.2.1.	Cenário Atual .....	105
3.2.2.2.	Cenário com paredes verdes .....	106

3.2.2.3. Cenário com telhados verdes .....	106
<b>3.2.3. Definição dos parâmetros para análise do conforto do pedestre .....</b>	<b>107</b>
<b>3.2.4. Definição da vegetação usada nas superfícies.....</b>	<b>108</b>
 3.3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	111
3.3.1. Sistematização dos resultados .....	104
3.3.1.1. Temperatura do ar ( °C) .....	112
3.3.1.2. Umidade Relativa do Ar (%)......	118
3.3.1.3. Velocidade do ar (m/s) .....	123
3.3.1.4. Temperatura Radiante Média - MRT ( °C) .....	127
3.3.1.5. Voto Médio Estimado- PMV .....	131
3.3.1.6. Índice de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas- PPD .....	136
 3.4. CONCLUSÕES A PARTIR DOS RESULTADOS .....	140
 <b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>145</b>
 <b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>147</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, as superfícies vegetadas foram adotadas nas edificações como forma de mitigar os efeitos negativos, decorrentes de alterações no uso e ocupação do solo e inerentes ao processo de urbanização das cidades. As modificações ocorridas no crescimento das cidades, tais como: supressão de áreas vegetadas, mudanças nas propriedades dos materiais naturais do solo, entre outros, provocaram diversas implicações no ciclo da água, no clima urbano e, até mesmo, no cotidiano da população.

Conforme Hough (1994 *apud* HERZOG; ROSA, 2010), no século XX, o planejamento urbano teve enfoque na mobilidade com o uso de automóveis e, ocasionou o espraiamento das cidades sobre áreas, como nascentes, áreas alagadas, áreas de preservação e ecossistemas naturais. A substituição dos elementos da natureza por edificações e por áreas pavimentadas produziu impactos no ambiente e clima urbano. Essas implicações são evidenciadas nas alterações dos elementos climáticos, como aumento da temperatura do ar, por exemplo, que consequentemente pode provocar desconforto ambiental e danos à saúde da população (SHINZATO, 2009; CORTEZ e ORTIZOGA, 2009).

Situações como as exemplificadas requerem medidas capazes de evitar que tais alterações provoquem maiores desastres ecológicos. Nesse sentido, uma importante forma de adaptação ao ambiente construído é ampliar o percentual de áreas verdes sobre as superfícies construídas, já que são escassos os espaços a serem transformados em áreas verdes dentro das cidades, sobretudo a partir da arborização urbana. Assim, a alternativa das superfícies vegetadas possibilita reabilitar áreas, tornando-as mais resilientes, no que se refere à “[...] capacidade de um sistema absorver impactos e manter suas funções ou propósitos, isto é, sobreviver ou persistir em ambiente com variações, incertezas” (Herzog 2013, p. 79)

Dessa forma, as próprias cidades correspondem a um *locus* e potencial transformador. Se as edificações foram priorizadas no ambiente urbano,

atualmente as “superfícies vegetadas” também conhecidas como “telhados e paredes verdes” são estratégias de infraestrutura verde capazes de amenizar os impactos negativos deste processo, podendo conformar verdadeiros corredores verdes.

Os corredores verdes são capazes de integrar a natureza à cidade na medida que funcionam como estratégia de conservação da natureza, de promoção da saúde pública, de melhoria da qualidade do ambiente urbano e constituem-se como elementos de suporte físico para mitigação de problemas ambientais e bioclimáticos (MASCARÓ; BONATTO, 2013). Lotufo (2013, p. 77), define essa alternativa como: “[...] um conjunto de serviços ecossistêmicos que, integrado ao espaço construído, traz benefícios econômicos, sociais e ambientais”.

Recentes abordagens sobre o desenvolvimento de tecnologias com foco na mitigação de problemas climáticos e adaptação ao meio construído incluem a utilização da vegetação sobre o ambiente já consolidado. Essa técnica se mostra capaz de modificar as características térmicas de um microclima urbano, ao diminuir a radiação solar e controlar a temperatura por meio da transpiração vegetal (VALESAN, 2009). A aplicação da vegetação nas superfícies, na forma de telhado ou parede verde, possui um papel importante no microclima, devido às suas propriedades térmicas. Conforme Laar (2001), os telhados verdes possuem características adequadas no que diz respeito à busca por condições de conforto e bem-estar. Os telhados verdes também atenuam o escoamento de águas pluviais, pois absorvem uma parte do fluxo de água em áreas urbanas (OBERNDORFER *et al.*, 2007). Scherer e Fredrizzi (2014) ressaltam que a utilização da vegetação pode ser considerada uma estratégia para o futuro das cidades, já que são inúmeros os benefícios proporcionados pelo aumento do verde nos centros urbanos, como os benefícios ambientais, sociais, estéticos e psicológicos, representando assim, uma importante justificativa para a inserção da infraestrutura verde em várias escalas. No entanto, a sua pesquisa e aplicação foi desenvolvida, principalmente, em países de climas temperados, tais como, os Estados Unidos e países da Europa, sendo escassos os estudos que avaliam o impacto em áreas consolidadas de climas tropicais úmidos, tal como os centros urbanos.

Ao apresentar a trajetória das abordagens do clima urbano, Assis (2005) relata que as pesquisas nos países desenvolvidos se aprofundaram na modelização física e numérica. Entretanto, na maior parte dos estudos em áreas tropicais, a abordagem ainda é descritiva sobre as ilhas de calor e a qualidade do ar, por exemplo, com pouca atenção à abordagem sobre balanço energético e simulações para fins de aplicações no planejamento urbano.

Diante desse cenário, o presente estudo pretende responder a seguinte pergunta: qual a capacidade das superfícies vegetadas em influenciar a melhoria do microclima urbano, especificamente de clima tropical úmido, e em áreas consolidadas?

De forma mais específica, esta pesquisa se justifica pelas contribuições que poderão ser dadas nas utilizações de análises paramétricas, que adicionem a vegetação na arquitetura dos edifícios e, com implicações na escala microclimática urbana, sobretudo porque são escassos os estudos com utilizações de parâmetros climáticos, que vinculam a qualidade do ambiente urbano aos telhados e fachadas verdes, em especial, na região da cidade de Vitória. Assim, o presente trabalho pode auxiliar em buscas de alternativas para adequar as cidades ao bem-estar de seus habitantes e de agregar elementos naturais na composição do desenho urbano, com foco na recuperação ambiental urbana de ambientes consolidados e degradados.

### 1.1.OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral da pesquisa é avaliar a capacidade de melhoria do microclima urbano e do conforto térmico pela influência dos telhados e paredes vegetadas, utilizando para o estudo, um recorte já consolidado no Centro do município de Vitória – ES, carente de vegetação e que não comporta a inserção de arborização urbana.

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- a) Aprofundar o estudo teórico sobre o clima urbano e suas variáveis climáticas: temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa, Temperatura Média



Radiante (MRT), assim como os índices: Voto Médio Estimado (PMV) e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD).

- b) Manipular o software ENVI- met, descobrindo as ferramentas de interface, assim como encontrar suas limitações.
- c) Pesquisar os diferentes tipos de tecnologias associadas à aplicação das superfícies vegetadas.
- d) Compreender os resultados das simulações por meio das análises das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico de modo a extrair conclusões acerca dos impactos gerados de cada cenário simulado.

No intento de atingir os objetivos supracitados, o trabalho foi organizado em cinco capítulos. O capítulo introdutório apresenta uma abordagem dos aspectos essenciais da pesquisa, justificando a escolha do tema, contextualizando o assunto e delimitando sua problemática. Faz parte também do primeiro capítulo a definição dos objetivos como a apresentação da estrutura do escopo.

No capítulo 2 faz-se a revisão de literatura por meio de uma pesquisa bibliográfica comentada, o que permite a fundamentação teórica do trabalho, tanto em termos conceituais, quanto para o levantamento de hipótese sobre a influência das superfícies vegetadas para a melhoria do conforto ambiental. Para tanto, é apresentado o panorama geral sobre a ambiência urbana, a relação entre o clima e os fatores que levaram à perda da qualidade ambiental, como o processo de formação das ilhas de calor. Descreve-se com mais detalhes sobre conforto térmico em espaços públicos abertos e suas principais metodologias e índices aplicados, assim como uma breve abordagem sobre os benefícios psicológicos da vegetação. Ainda no segundo capítulo, é apresentada a influência da vegetação no clima urbano e os principais mecanismos de amenização da radiação solar.

O capítulo 3, denominado Métodos, apresenta as metodologias e técnicas adotadas para atenderem aos objetivos da pesquisa: a escolha da zona urbana, a delimitação da região do estudo, a escolha do tipo de vegetação utilizada nas simulações, as justificativas da metodologia utilizada, bem como a apresentação das ferramentas de simulações do programa, o *software* ENVI-met. Para as modelagens, apresenta-se a seleção dos parâmetros dos dados de entrada, como variáveis climáticas de

temperatura e da umidade relativa e específica. Para a caracterização do conforto térmico do pedestre, utilizou-se parâmetros de entrada, considerando o levantamento preliminar da zona escolhida e a elaboração de cenários com a incorporação das superfícies vegetadas em diferentes proporções, a fim de verificar os efeitos de cada cenário com características tipológicas adequadas ao enfoque desta pesquisa.

O capítulo 4 contém os resultados das simulações, que são demonstrados por meio dos mapas extraídos do programa utilizado. Com o objetivo de analisar os efeitos de cada técnica, foram comparados os mapas do cenário atual e os mapas dos cenários de telhados verdes e paredes verdes. Ao final, foram sintetizados os principais efeitos na temperatura, umidade e velocidade dos ventos, como também os índices de conforto térmico em espaços abertos.

O capítulo 5 finaliza a dissertação apontando as conclusões e sugestões para outras pesquisas no que concerne à adoção de técnicas de aplicação de vegetação nas edificações, que vise a melhoria o entorno urbano. Enfim, busca-se compreender com o trabalho a relação entre clima urbano e os efeitos das superfícies vegetadas. A partir daí, espera-se que seus desdobramentos futuros possam contribuir para o desenvolvimento de planos urbanos, pautados em diretrizes conceituais dos princípios bioclimáticos com foco no conforto térmico urbano.

## **2. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E A QUALIDADE DO AMBIENTE URBANO**

Este capítulo apresenta o referencial teórico sobre o tema principal e mais abrangente: alterações climáticas e a qualidade do ambiente construído. Está dividido em duas principais partes: a primeira parte abrange o conceito de clima, as classificações e a abordagem do clima urbano evidenciando os elementos que o influenciam. Descreve-se também sobre os fatores da forma urbana e a relação com o conforto térmico em espaços abertos, além dos índices que representam as sensações térmicas em áreas urbanas. A segunda parte apresenta os efeitos sobre a qualidade ambiental urbana das áreas verdes e demonstra como a vegetação interfere no microclima urbano como também traz benefícios psicológicos. Conceitua-se as formas de superfícies vegetadas na envoltória das edificações como importante estratégia de mitigação dos efeitos das alterações climáticas, assim como as principais vantagens e desvantagens associadas à cada técnica.

A intensificação do processo de urbanização tem-se tornado um grande desafio para a qualidade do ambiente urbano. Se, por um lado, a transformação campo-cidade, na década de 20, esteve voltada para a expansão do comércio, dos serviços, e das indústrias em áreas urbanas, por outro lado, ocorreu a intensificação do uso e ocupação do solo pelo adensamento urbano sem um adequado planejamento. Isso se deve ao fato da abordagem sobre a qualidade do ambiente construído ser iniciada somente nas décadas de 50 e 60, quando a população já era majoritariamente urbana (LIMA, PINHEIRO e MENDONÇA, 2012).

Segundo Minaki e Amorim (2011), o conceito de qualidade ambiental envolve diversos aspectos relativos às condições de habitação, ecológico-ambientais e econômicas de um determinado local, tais como a qualidade de vida. Diante disso, as atividades na cidade e as alterações decorrentes dela trazem consequências para o meio natural, proporcionando assim, a criação de condições climáticas que serão determinantes para a qualidade ambiental. Pode-se afirmar, portanto, que essas condições climáticas urbanas alteradas são responsáveis também pela diminuição da qualidade de vida (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Especificamente, a degradação ambiental gerada pelo processo de urbanização

estimula reações na natureza sob a forma de alterações climáticas. Este fator, além de interferir na qualidade ambiental urbana, afeta o cotidiano das pessoas, uma vez que “ [...] o homem defronta-se com a impessoalidade da grande aglomeração e com a má qualidade do meio ambiente, geradas pela rápida transição da vida urbana metropolitana” (LOMBARDO, 1985, p.16).

Nesse mesmo sentido, Rossi, Minella e Krüger (2009) explicam que as atividades na cidade, em função do uso e ocupação dos ambientes urbanos, interferem no clima urbano e geram mudanças climáticas que afetam os seres humanos. Ou seja, a mudança do balanço de energia inicial, advinda do: adensamento urbano, da intensificação do uso e ocupação do solo urbano, da inércia térmica das construções e geometria urbana, da impermeabilização do solo, como também pela redução significativa das áreas verdes, influencia os elementos do clima e atinge a escala urbana de maneira negativa. Lombardo (1985) explica que os habitantes se depararam com as reações da natureza em forma de fenômenos inter-relacionados, como ilha de calor, poluição do ar, inundações, desabamentos, que passam a fazer parte do cotidiano do homem urbano.

No que concerne às condições atmosféricas, é possível elaborar soluções arquitetônicas adequadas para cada região climática, desde que haja um conhecimento prévio sobre a dinâmica do clima. Pippi, Afonso e Santiago (2002) acrescentam que a arquitetura, o urbanismo e o paisagismo devem estar interligados no planejamento das cidades, sob a ótica do controle ambiental e da qualidade de vida, para a conformação de um desenho urbano que vise à melhoria da ambiência.

Nesse sentido, as decisões no planejamento urbano, de modo geral, podem transformar o microclima, tornando-o confortável ou insuportável. Assim, o clima local será determinado pelas decisões de projeto e este terá impacto na qualidade de vida da sociedade (CORBELLA, 2003).

Katzschner (1997) salienta que, durante os processos de crescimento e transformação das cidades, o estudo do clima urbano pode ser um instrumento muito importante no planejamento das cidades, pois ele considera a circulação do ar

e as condições térmicas como aspectos relevantes para o projeto de preservação e criação do “clima urbano ideal”. Deste modo, uma cidade sem adequado planejamento urbano ou com ausência de indicadores, que considerem as condições climáticas pode colocar em risco a qualidade de vida dos seus habitantes. Neste aspecto, o conforto térmico, um dos importantes indicadores utilizados para representar os elementos climáticos na escala humana, será tema tratado neste estudo, no item 2.1.7.

Logo, as mudanças originadas no processo de urbanização provocam, além dos impactos socioambientais, alterações na atmosfera do ar, que originam o clima urbano, sendo suas causas, a retirada da cobertura vegetal, o aumento da impermeabilização do solo e a inércia térmica dos materiais; tópicos a serem tratados no decorrer do presente estudo. Esse fenômeno está relacionado diretamente às ações antrópicas no meio urbano interferindo, assim, no balanço de energia, no conforto térmico, levando à degradação de qualidade ambiental urbana (VIDAL; MORETTI; AMORIM, 2014).

Diante disso, as diferentes formas de interação entre as condições do clima e o espaço construído devem servir como indicadores de qualidade ambiental na análise da ambiência urbana (SANT’ANNA NETO; AMORIM, 2009). Inicia-se, portanto, com o estudo do tema principal: o clima.

## 2.1. CLIMA

Segundo Romero (1998), o estudo do clima compreende tanto a sua formação, originada de fatores geomorfológicos e espaciais quanto a sua caracterização. Para uma análise mais aprofundada, tais fatores devem ser considerados, a fim de se obter melhores resultados para o desenho de um projeto.

Com a proposta de definir o clima, Romero (1998) adotou a diferenciação entre os elementos e fatores climáticos. O primeiro tem como objetivo definir e apresentar os componentes do clima, e os outros possuem a função de condicionar, determinar e definir sua origem. Os fatores climáticos se dividem em: locais e globais. Os locais

são responsáveis pelas variações do clima, já os fatores climáticos globais determinam e originam o clima. A radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos e massas de água e terra são os fatores globais e são descritos a seguir:

- ✓ **A radiação solar** consiste da radiação advinda do Sol, que atravessa a atmosfera em forma de ondas magnéticas, mas somente uma parcela chega na camada terrestre. A outra parte é dispersada nas subcamadas acima. Essa parcela que penetra na atmosfera, é refletiva posteriormente pelas superfícies terrestres ou mesmo pelas nuvens e outra parte é absorvida gerando aumento da temperatura.

A radiação solar apresenta as seguintes definições (DUFFIE; BECKMAN, 1980, *apud* PAULA, 2004, p. 14):

- **Radiação direta:** aquela recebida do Sol sem ter sido espalhada, de alguma forma, pela atmosfera.
  - **Radiação difusa:** aquela que teve sua direção alterada por elementos presentes na atmosfera.
  - **Radiação de onda longa:** tem, em seu espectro, valores acima de 3000 nm e sua origem em fontes com temperaturas próximas a do ambiente.
  - **Radiação de onda curta:** tem seu espectro valores entre 300 nm e 3000 nm e inclui os componentes diretos e difusos
- 
- ✓ **A latitude** é a posição do local em coordenadas em relação à linha do Equador.
  - ✓ **A longitude** é a posição da localidade em relação à distância ao eixo horizontal do Meridiano de Greenwich, não interferindo muito na formação do clima.
  - ✓ **A altitude** é a distância em relação ao nível do mar, sendo este o elemento que mais influência no clima.
  - ✓ **Os ventos** se caracterizam pelas movimentações de ar, advindos do processo adiabático, ou seja, das movimentações de ar pelos processos de perda ou ganho de pressão de um determinado local, devido à tendência a se igualarem as pressões;

- ✓ **As massas de água e terra** se caracterizam pelas quantidades de água como lagos e rios, disponíveis nas superfícies terrestres, já as massas de terras são quantidade de solos também na superfície da terra. As massas de terra possuem maiores capacidades de armazenagens de calor em relação às massas de água sendo, portanto, mais quentes.

Os fatores climáticos locais influenciam de forma mais pontual o clima, como exemplo o bairro, a rua e etc.. Os principais fatores que contribuem para o microclima são:

- ✓ **Topografia** é originada dos próprios processos morfológicos da Terra, sendo este de extrema importância para a definição de um microclima.
- ✓ **A vegetação** contribui para absorção da radiação solar pelo efeito da fotossíntese e transformar o ganho solar em própria atividade metabólica, diminuindo temperatura.
- ✓ **Superfície dos solos** podem ser o próprio solo natural ou o solo construído. Estes elementos com suas próprias características determinarão a quantidade de radiação refletida ou absorvida e a permeabilidade do solo, ou seja, a quantidade de infiltrações e drenagem para o ciclo da água.

Em sequência, os elementos climáticos são os que representam o clima, tais como: temperatura, precipitações umidade e movimento do ar. Os elementos do clima, também denominados de meteorológicos, são os parâmetros mensuráveis, cujas variações definem o clima (GOULART *et al*, 1994).



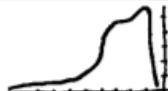
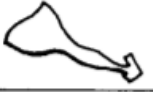

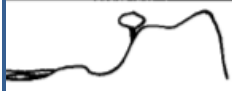

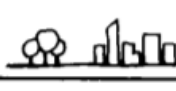




- ✓ **Temperatura** é representado pela relação entre o aquecimento e esfriamento da superfície da terra é o fator determinante da temperatura do ar.
- ✓ **As precipitações** ocorrem quando as massas de ar com vapor d'água condensam e passa do estado de vapor para o estado líquido.
- ✓ **A umidade de ar** é equivalente ao vapor d'água no ar originado dos processos de evaporação da água, da evapotranspiração dos vegetais. A umidade específica, por sua vez, é definida pelo peso do vapor d'água por unidade de peso de ar (g/Kg).
- ✓ **O movimento do ar** é originado das diferenças de pressão atmosférica

influenciada diretamente da temperatura do ar.

✓

A Figura 1 construída por Romero (1988) sintetiza a explicação, representa e classifica os fatores climáticos globais, locais e elementos climáticos.

Figura 1 - Configuração do clima

<i>Fatores climáticos globais</i>	
	<b>Radiação solar</b> Quantidade/Qualidade/Inclinação do eixo terrestre/Equilíbrio término terrestre.
	<b>Latitude</b>
	<b>Altitude</b>
	<b>Ventos</b>
	<b>Massas de água e terra</b>
<i>Fatores climáticos locais</i>	
	<b>Topografia</b> Declividade/Orientação/Exposição/Elevação.
	<b>Vegetação</b>
	<b>Superfície do solo</b> Natural ou Construído/Reflexão/Permeabilidade/Temperatura/Rugosidade.
<i>Elementos climáticos</i>	
	<b>Temperatura</b> Valores médios/Variações/Valores extremos/Diferenças térmicas entre o dia e a noite.
	<b>Umidade do ar</b> Absoluta/Relativa/Pressão de vapor
	<b>Precipitações</b> Chuva/Neve (todo tipo de água que se precipita da atmosfera).
	<b>Movimento do ar</b> Velocidade/Direção/Mudanças diárias e estacionais.

Fonte: Romero (1988).

Assim, os fatores climáticos locais e os elementos do clima nas cidades originam um



clima específico, chamado de clima urbano.

### **2.1.1. O clima urbano**

Segundo Oke (1991), os estudos do clima urbano se iniciaram por Howard, conhecido como o “pai” da climatologia urbana pelas suas observações, interpretações e relatórios sobre a temperatura do ar na cidade de Londres e em outras cidades ao redor. Howard descreveu dois principais estudos intitulados de “The Climate of London” (1818, 1820), onde reconheceu as anomalias de calor nos termômetros e referidas hoje como “ilhas de calor”.

Landsberg, em seu estudo denominado de *The Climate of towns* (1956), comparou o centro de Londres com os locais ao redor por meio de médias térmicas, reconhecendo a formação de Ilhas de calor na cidade. Landsberg elaborou uma síntese sobre os estudos dos climas urbanos e apontou os atributos fundamentais que geram as particularidades para os estados atmosféricos, sob a ótica da integração dos elementos ao ambiente urbano. Outro pesquisador, Tony Chandler (1965), monitorou a ilha de calor em Londres e encontrou diferenças na temperatura da cidade com as circunvizinhas, publicando a obra *The climate of London* (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

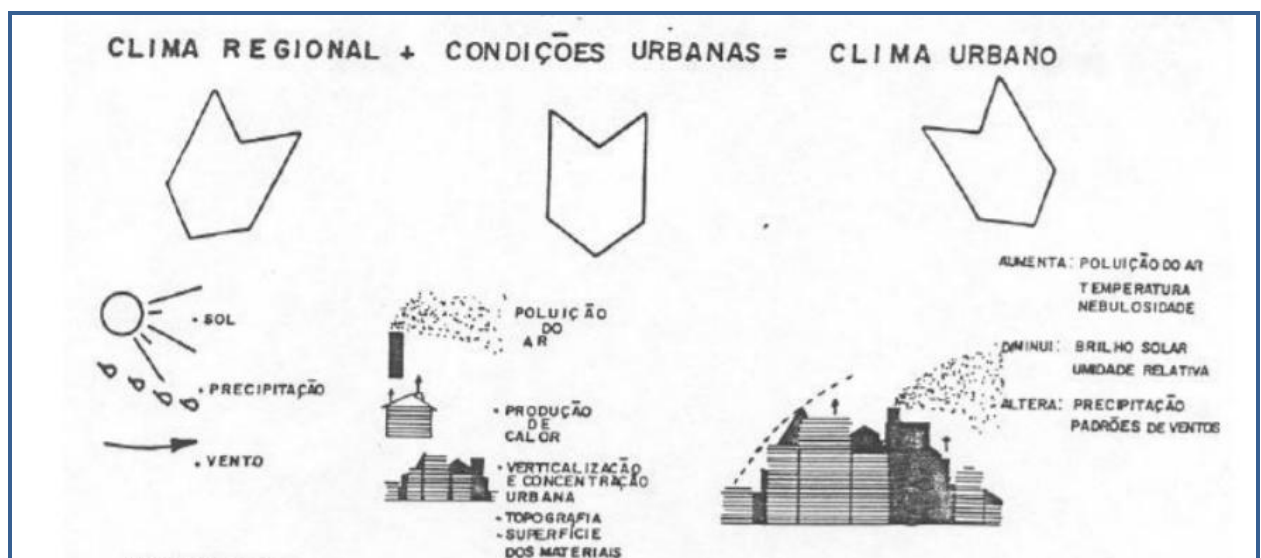
Na literatura brasileira, Monteiro (2003) criou uma proposta teórico-metodológica, intitulada de Sistema Clima Urbano (S.C.U), para conduzir estudos sobre os climas das cidades do Brasil por meio de uma perspectiva integradora e dinâmica sobre os elementos do clima e suas interferências da cidade. De acordo com os enunciados básicos sobre as ideias reguladoras com fins de ação normativa da teoria e ações em pesquisa, apresentados por Monteiro (2003), deve-se evitar a colocação do clima urbano em definições por termos. Landsberg (1981) explica que as definições por termos podem gerar erros nas interpretações do clima urbano, porque há uma série de fatores climáticos e condições urbanas que o influenciam, devendo, portanto, ser analisado simultaneamente “Cada forma, cada casa e cada estrada geram um novo microclima” (LANDSBERG, 1981, p. 584, tradução nossa)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> “Every form, every house and every road causes a new microclimate” (LANDSBERG, 1981, p. 584).

A Figura 2 abaixo representa o clima urbano formado pelas interações entre o clima regional e as condições urbanas, que são caracterizadas pelos seguintes elementos: poluição do ar, originada de processos de produção fabril; a produção de calor das superfícies das edificações; as pavimentações urbanas; a verticalização; a concentração das edificações e as atividades urbanas. A topografia, que é a forma natural da superfície da região, também influencia o clima urbano devido às diferentes formas de relevo, como planícies e planaltos. O clima urbano se caracteriza, portanto, pelo aumento da poluição do ar, da temperatura e a nebulosidade, a diminuição do brilho solar, diminuição da umidade relativa, os padrões dos ventos.

Figura 2- Formação do clima urbano



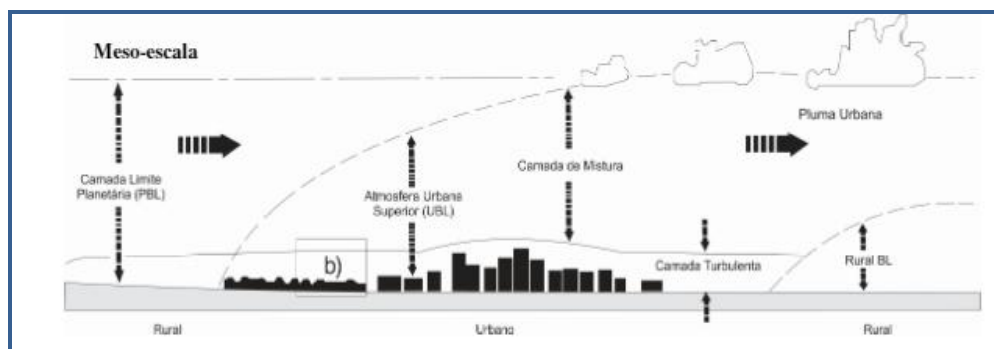
Fonte: RYT (1972, apud GOULART et al, 1994, p.7).

Oke (2004) ressalta que as características mais significativas que afetam o clima urbano são: a estrutura urbana, caracterizada pelas dimensões dos edifícios, os espaços entre eles e a largura das ruas; o tipo de solo, que pode ser pavimento, água ou vegetação; e o tecido urbano, composto de construções e materiais naturais; o metabolismo urbano; o calor e os poluentes gerados pela atividade humana cotidiana, como o deslocamento por meio de transporte público e privado que gera poluentes.

### 2.1.2. Escalas Climáticas

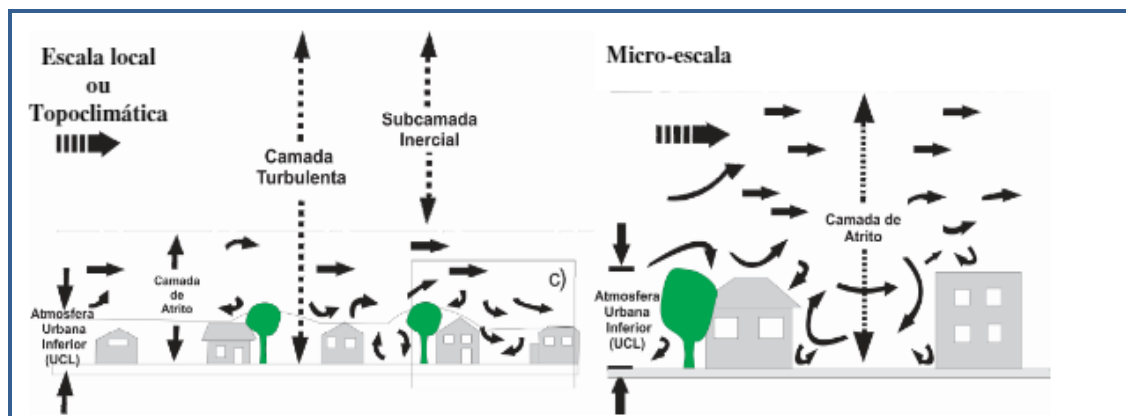
Em 1984, Oke (2004) desenvolveu uma divisão de escala espacial e temporal, aplicada em áreas urbanas. As escalas são apresentadas na Figura 3 e na Figura 4, a seguir.

Figura 3- Esquema das escalas climáticas proposto por Oke – Mesoescala



Fonte: Adaptado de Oke (2004).

Figura 4- Esquema das escalas climáticas proposto por Oke – Escalas Local e Microclimática



Fonte: Adaptado de Oke (2004).

A partir deste estudo, Oke (1984) definiu três níveis de escala para se obter a correta relação entre as estações meteorológicas e as variáveis coletadas:

- ✓ **Microescala:** escala definida pelas dimensões de elementos individuais como edifícios, árvores, estradas, ruas, pátios, jardins, entre outros. As temperaturas da superfície e do ar podem variar de acordo com vários graus de distâncias pequenas (milímetros) e o fluxo de ar pode ser modificado por pequenos objetos. A influência desses elementos restringe-se à atmosfera urbana inferior,

denominada “Urban Canopy Layer”.

- ✓ **Escala Local:** corresponde a uma escala que inclui características de relevo e exclui a influência do microclima. Nas áreas urbanas correspondem um tipo específico de uso e ocupação do solo, por exemplo, o tamanho e espaçamento de edifícios, materiais de construção e atividades. A escala local varia de um a alguns quilômetros. O objetivo é alcançar observações climáticas livres de interferências dos microclimas. Na vertical, a influência dessa organização escalar estende-se ao limite superior da camada de atrito, conhecido também como “Roughness Layer”.
- ✓ **Mesoescala:** é a escala definida pela influência do clima da cidade na área superior das dimensões da cidade, se estendendo à atmosfera urbana superior, este último é também chamado de “Urban Boundary Layer”.

Segundo Oke (2006), o microclima, dentro de uma escala climática, possui um raio de influência de 0,5 a 1 Km, pois esse é o círculo de influência da temperatura e umidade relativa do ar de um sensor, dependendo do grau de densidade da área. As condições climáticas nas cidades, de forma geral, são diferentes das zonas rurais, transformando-se em um microclima característico, denominado “microclima urbano”.

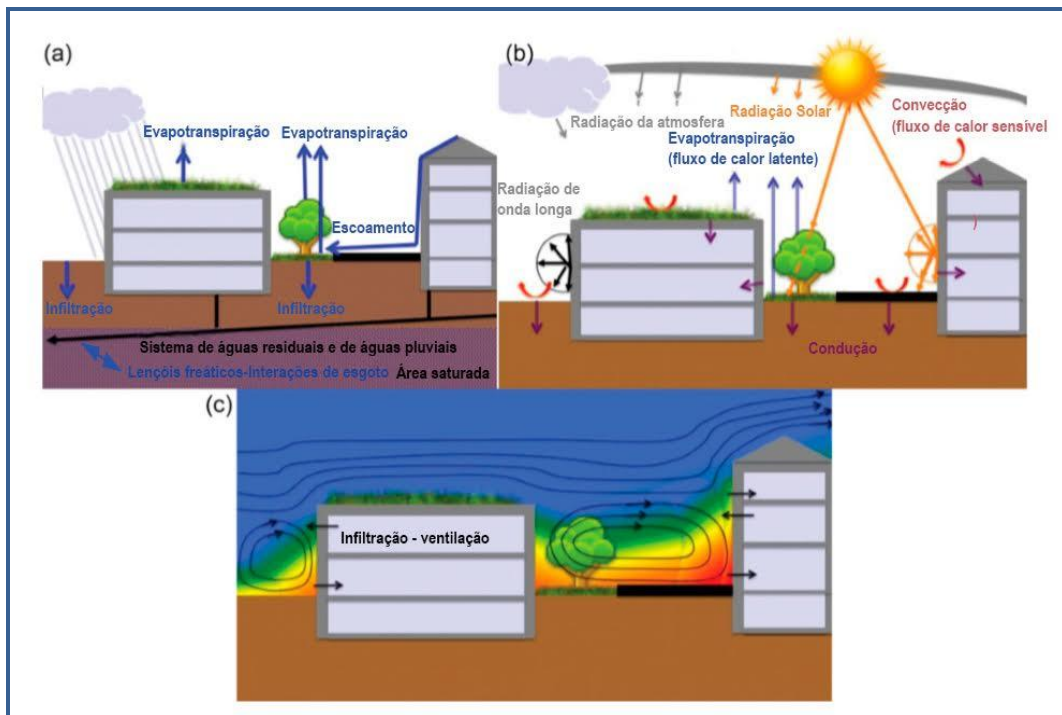
Para a escala do microclima, Lamas (1992) considera que os fatores fundamentais para a formação são: o sítio, a função e a morfologia urbana. O sítio é referente ao local, a função descreve os tipos de atividades exercidas no local e a morfologia contempla a geometria dos edifícios como também os elementos naturais, tais como: relevos e superfícies aquáticas.

### 2.1.3. Fatores climáticos locais

O microclima urbano é resultante dos fluxos de trocas radiativas, de calor e água entre o solo profundo, as superfícies urbanas e a atmosfera. Estes processos

compõem o equilíbrio energético, em que a radiação do sol e a ação antropogênica devem estar balanceadas nesse sistema, sendo assim, uma relação de causa e efeito entre si (VILELA, 2007). Essas múltiplas interações relacionadas aos processos térmico, radiativo, hidrológico e aerodinâmico, incluindo o comportamento térmico dos edifícios, são esboçadas na Figura 5 (BOZONNET *et al.*, 2015).

Figura 5- Esquema de balanço térmico e hídrico



Fonte: Bozonnet *et al.* (2013).

Na Figura 5, no item “a”, é apresentado o balanço hídrico gerado pelo intercâmbio de água entre o solo e as redes subterrâneas, as superfícies e a atmosfera. Esse equilíbrio leva em consideração as características da superfície, tais como: infiltração, presença de vegetação, as propriedades hidrológicas do solo, como, permeabilidade e a presença de redes subterrâneas. Os fluxos de evapotranspiração entre a superfície e a atmosfera correspondem ao fluxo de calor latente incluído na energia de superfície. O item “b” expressa o equilíbrio entre a radiação, o fluxo de calor latente, o fluxo de calor sensível, oriundo do processo de convecção da superfície e o fluxo de calor condutor no solo, assim como do envelope do edifício. Os fluxos de calor advectivo e antropogênico também estão envolvidos no balanço de energia urbana. O fluxo de calor condutor depende de sistemas ambientais internos e cargas, isto é, aquecimento, resfriamento e outros

usos do edifício. O balanço térmico do edifício inclui o equilíbrio entre os fluxos de calor através de paredes e coberturas, cargas internas (ocupantes, equipamentos etc.) e fluxos relacionados à ventilação e infiltração de ar através da envoltória do edifício (Figura 05, item c). O fluxo de calor sensível nas superfícies da parede depende do fluxo de ar e da temperatura da parede próxima. As taxas de ventilação e infiltração também dependem do fluxo de ar externo.

De acordo com estudos feitos por Bardou e Arzoumanian (1984, *apud* PAULA, 2004), toda radiação que chega à atmosfera, aproximadamente 15% são absorvidos por ela e 32% devolvidos por difusão ao espaço. Dos 50% restantes que atingem o solo, 6% são perdidos por reflexão e 47% absorvidos pela superfície do solo.

O efeito da absorção e difusão depende dos materiais utilizados no ambiente construído. Quanto maior a compacidade da área das edificações, maior a redução da radiação solar direta por sombreamento e maior o aumento da radiação difusa, ocasionado pelas inter reflexões entre edifícios, como também será maior a retenção da radiação de onda longa no espaço urbano (ROMERO, 2011). Além disso, Ayoade (2011) afirma que conforme o período do dia, a temperatura varia em função do aquecimento da superfície em relação ao ângulo de incidência da radiação. As temperaturas, no início da manhã e no final da tarde, são menores que no meio do dia.

#### **2.1.4. Dos Albedos**

Nince (2013) explica que o albedo é a designação frequentemente dada à refletância total de um dado sistema, expresso em porcentagem, considerando-se os quocientes entre o fluxo de radiação refletido e o fluxo incidente. Bias, Baptista e Lombardo (2003) explicam que o fenômeno do aumento de temperatura é ocorre mais em ambientes urbanos, pois, como mostra a Figura 6, os diferentes albedos, oriundos dos materiais empregados na construção civil, armazenam mais calor. Nota-se assim que, dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e maior calor será emitido pela superfície.

Figura 6- Albedo dos materiais urbanos



Fonte: Bias, Baptista e Lombardo (2003).

Bustos Romero (2001) salienta que a combinação do albedo das superfícies com a disposição geométrica, traz, como consequência, a média de albedos urbanos 0,15 mais baixos que os da maioria das paisagens rurais. Ou seja, em áreas urbanas, o fluxo de calor refletivo é menor, pois as propriedades das superfícies urbanas retêm a radiação, como é o caso da pavimentação com asfalto.

Diversos tipos de materiais construtivos têm sido utilizados nas edificações em áreas urbanas. Esses elementos são os que mais interferem nas variações de temperatura, como as coberturas (telhados), pois são capazes de modificar tanto a geração de calor para o entorno das edificações quanto para o interior das mesmas. Esse calor é demonstrado pelas variáveis de refletância e emissividade dos materiais (ARAUJO; SANT'ANNA NETO, 2016).

A emissividade representa o desempenho térmico por meio da temperatura superficial. Portanto, as superfícies com elevado albedo e alta emissividade permanecem com temperaturas mais baixas quando expostas à radiação do sol, pois emitem mais radiação térmica. Ao contrário, quanto menor for o albedo e a emissividade, maior será a absorção de radiação solar (SANT'ANNA NETO; AMORIM, 2009).

A emissividade pode contribuir com diferentes graus para a mudança de temperatura e sua contribuição pode ser maior se comparada com a alteração do albedo, em alguns casos (VENDRASCO; FREITAS; DIAS, 2016).

A tabela 1 abaixo, apresenta os tipos de materiais utilizados nos telhados e os respectivos índices, como albedo e emissividade.

Tabela 1- Temperatura superficial dos materiais

Material	Albedo (a)	Emissividade (e)	Temperatura Superficial (°C)	Diferença de Temperatura entre o ar e o material
Cerâmica Vermelha	0,53	0,9	36,8	- 0,1
Cerâmica Branca	0,54	0,9	36,2	- 0,6
Fibrocimento	0,34	0,9	47,1	+ 10,3
Alumínio s/pintura	0,57	0,05	69,4	+ 32,6
Alumínio cores claras	0,40-0,47	0,9	40,1 - 43,3	De + 3,2 a + 6,5
Alumínio cores escuras	0,26-0,38	0,9	45,0 - 51,4	De + 8,1 a + 14,5
Aço galvanizado sem pintura	0,57	0,25	57,9	+ 21,1

Fonte: Astm (1980).

Conforme a tabela 1 acima, a cerâmica possui um albedo menor que o alumínio, porém maior que o do fibrocimento. Os materiais feitos com cerâmica, fibrocimento e alumínio com cores claras e escuras possuem o mesmo índice de emissividade. No entanto, quando se compara a diferença de temperatura entre o ar e o material, é possível identificar que a cerâmica possui -0.1 °C de diferença, enquanto o fibrocimento -0.6 °C. Já o alumínio com cores claras, a diferença é de + 3.2 °C. Ou seja, para um mesmo grau de emissividade pode-se obter diferenças maiores ou menores de temperatura do ar. Neste caso, um albedo maior contribui para as temperaturas mais amenas.

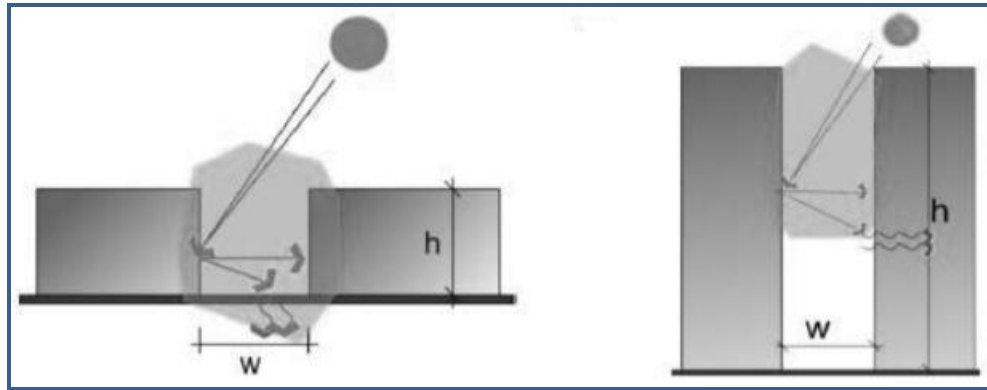
Segundo Branco (2009), os materiais utilizados no processo de urbanização das cidades possuem propriedades físicas diferentes do solo natural, possuindo menor albedo, elevada capacidade calorífica e maior valor de condutividade térmica em relação às propriedades naturais do solo. De tal modo, o balanço de radiação é modificado pelo aumento da temperatura do ar e pela diminuição da umidade, interferindo na qualidade bioclimática dos espaços urbanos.

Silva e Romero (2010) complementam que a quantidade de radiação absorvida está diretamente relacionada com a razão entre a largura viária e as alturas das edificações, representadas por W e H respectivamente, (relação W/H), pois os edifícios armazenam a radiação de ondas curtas e devido às várias reflexões,



aumentam, assim, a energia absorvida. A Figura 7 representa alturas e larguras para as diversas possibilidades de absorções e radiações.

Figura 7- Impacto da radiação solar em diferentes configurações



Fonte: Romero (2001 *apud* Schmitz 2014).

Portanto, a forma de ocupação de solo, a densidade edificada, as propriedades dos materiais utilizados na composição de pavimentação como também os materiais adotados nas superfícies das edificações possuem potencial para a formação de ilhas de calor urbana. Esses efeitos nas mudanças das propriedades das superfícies das pavimentações e das envoltórias das edificações, em centros urbanos, sobre a temperatura, interferem diretamente no conforto térmico em espaços públicos.

### 2.1.5. Da Rugosidade

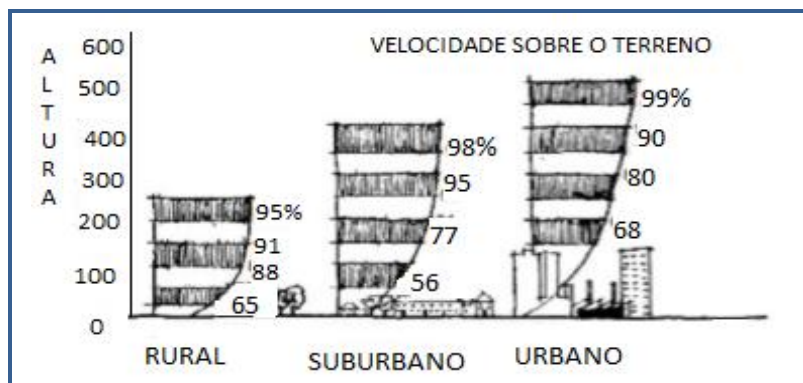
Segundo Santos (2004), a rugosidade é definida como a superfícies das massas edificadas de uma área. Nos estudos de clima urbano, a camada de rugosidade, definida por Oke (1987), refere-se à camada limite dos telhados das edificações, nas quais as condições térmicas influenciam diretamente no conforto térmico. Na estrutura urbana, as dimensões dos edifícios alteram a dinâmica da velocidade e o sentido dos ventos e, são caracterizadas como índice de rugosidade.

As rugosidades urbanas, juntamente com os componentes térmicos dos materiais, causam complexos efeitos de radiação. Além disso, as geometrias das edificações comportam-se como obstáculos para a passagem do vento, ao impedir o fluxo natural do ar nesse ambiente. Ou seja, as diferentes formas de disposição dos edifícios criam conformações urbanas com variações de permeabilidade, podendo

gerar barreiras ao vento e gerar efeitos de canalização (ROMERO, 2011; LOMBARDO, 1985).

A Figura 8 demonstra o efeito das dimensões dos edifícios na ventilação urbana em diferentes cenários. No primeiro caso, o campo aberto apresenta, para a mesma altura de 150 m, a porcentagem de 91% da velocidade do vento. Já para a área nomeada de suburbana, o valor cai para 77% e para o centro urbano a velocidade chega a 68%. Isso ocorre por causa das faces da geometria dos edifícios encontrarem-se expostas ao vento, servindo de barreira para a sua propagação. Outra diferença é em relação ao gradiente de velocidade, pelo qual nota-se que em áreas urbanas é maior a velocidade que em áreas rurais (SANTOS, 2004).

Figura 8- Efeito da rugosidade sobre o perfil de velocidade dos ventos

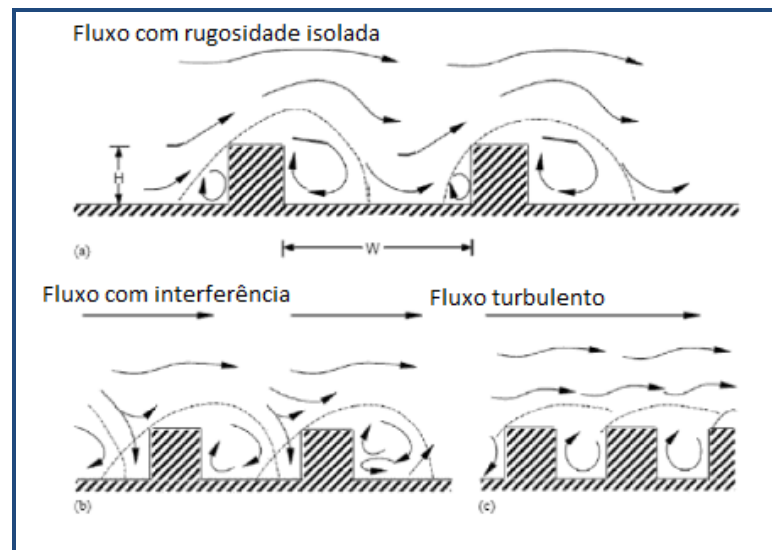


Fonte: Adaptado de Santos (2004).

Conforme Grimmond e Oke (1999, *apud* SILVA, 2014), as interferências da geometria urbana na ventilação natural variam conforme os espaçamentos entre as edificações e, portanto, existem formas de avaliação dos fluxos, conforme Figura 9:

- ✓ **Fluxo com rugosidade isolada:** quando a distância entre as edificações ( $W$ ), não interfere no fluxo de ar;
- ✓ **Fluxo com a interferência:** quando o fluxo principal é partilhado em outros fluxos devido aos obstáculos e
- ✓ **Fluxo turbulento:** quando a distância entre as edificações ( $W$ ) é estreita desviando o fluxo de ar para cima, ocasionando um movimento de turbulência.

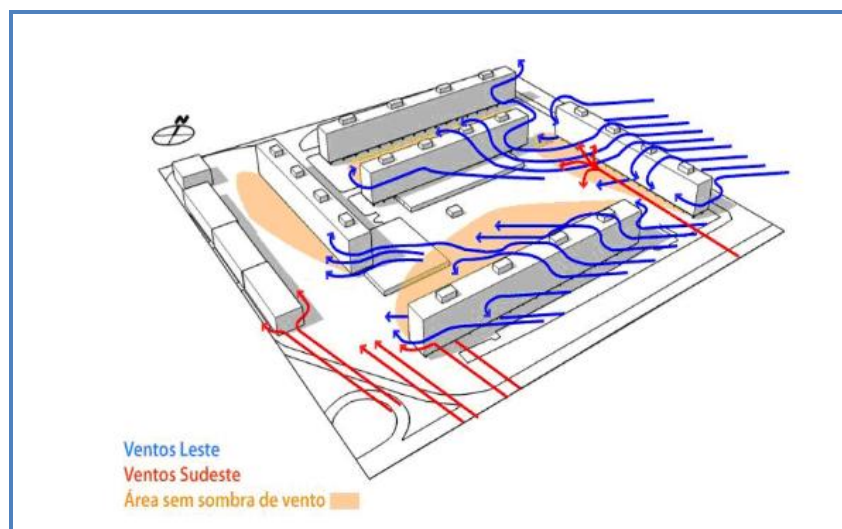
Figura 9- Regime de escoamento de um cânion urbano



Fonte: Romero (2011).

O sentido do vento é alterado pelo posicionamento dos edifícios e suas faces. Desse modo, os ventos de maior ou menor intensidade na região podem sofrer variações, assim como algumas áreas podem não receber a passagem do ar, como é o caso apresentado na Figura 10. Em algumas áreas, em função da barreira que a geometria faz, como o local mapeado por uma mancha na figura, fica sem ação do vento (ROMERO, 2011).

Figura 10- Regime de escoamento de um cânion urbano



Fonte: Romero (2011).

Romero (2011) afirma que existem diferenças nas velocidades do vento em relação

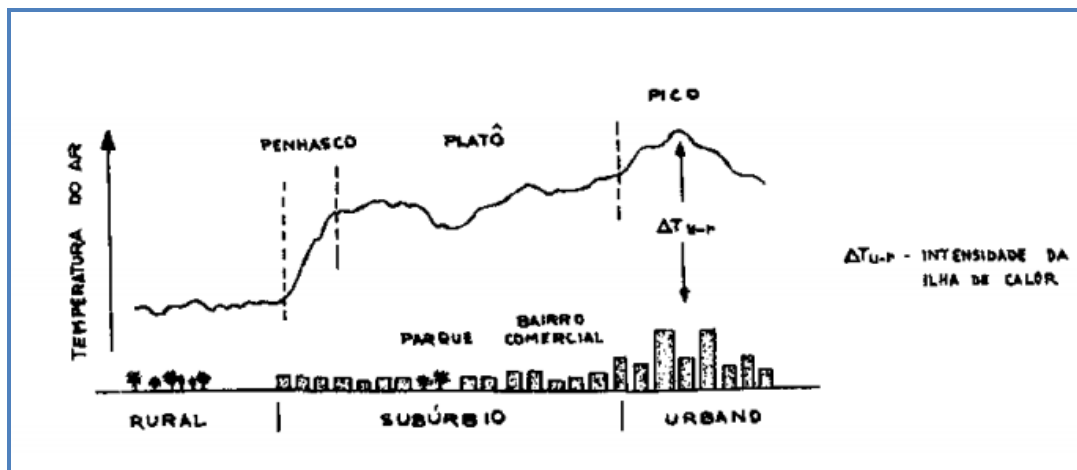
à orientação das paredes do cânion urbano, cuja formação da rua é margeada por uma série de edificações. Quando a velocidade é perpendicular ao eixo, o fluxo fica caracterizado como movimentos espirais. Já quando a orientação é paralela, os valores ficam acima de 4m/s e o fluxo corre no mesmo sentido.

### 2.1.6. Ilhas de calor

Segundo Carfan e Nery (2010), o microclima nas áreas urbanas sofre influência de diferentes variáveis, tais como: geometria urbana e materiais das superfícies, as quais pode contribuir para um ambiente desfavorável. O aumento das temperaturas no ambiente urbano em relação ao entorno é um exemplo dessa interferência negativa, denominada de “ilha de calor”.

Conforme Danni (1980), para a melhor compreensão do fenômeno de ilha térmica, alguns autores (Oke, 1978 e Frisken, 1973) a comparam com um relevo, cujas temperaturas mais elevadas ( $\Delta T_{u-r}$ ), representadas por um pico, decrescem gradualmente em direção ao subúrbio e significativamente em direção à área rural (Figura 11).

Figura 11- Seção transversal generalizada de uma típica ilha térmica urbana

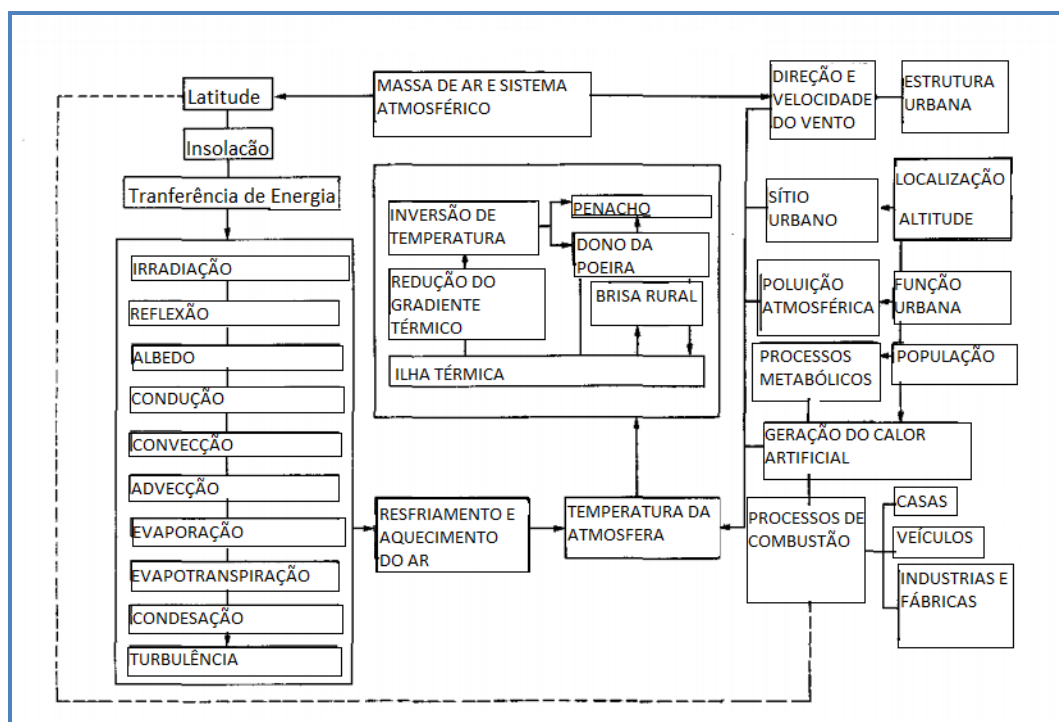


Fonte: Oke (1976 *apud* DANNI 1980, p. 294).

Danni (1980) destaca que as causas primárias do surgimento e o desenvolvimento da ilha de calor são os fenômenos sazonais e azonais (elementos diferentes do que se espera, dentro de um ambiente ecológico típico) oriundas de diversas variáveis

complexas (Figura 12). Secundariamente, a quantidade de calor sensível da atmosfera, decorrente de uma menor evaporação, provocando a precipitação sobre as coberturas das ruas e seu escoamento pelo sistema de drenagem urbana. Os fenômenos sazonais estão relacionados com a poluição atmosférica, a diminuição da velocidade dos ventos e com as características do próprio local. Assim, a velocidade terá uma diminuição de cerca de 15 a 17%, devido à estrutura da cidade. Como consequência, haverá menor disseminação dos poluentes, vapor d'água e outros gases no ar. Apesar do sítio urbano variar com relação a cada cidade, pode-se generalizar os efeitos da topografia e hidrografia. A topografia possui o potencial de amenizar a intensidade das ilhas de calor como também melhorar o resfriamento do ar pela diferença de pressão na atmosfera.

Figura 12 - Variáveis que atuam na formação de ilha de calor



Fonte: Danni (1980).

Gartland (2010) apresenta cinco principais características das ilhas de calor:

- ✓ Após o pôr-do-sol, as ilhas de calor são geralmente mais quentes, sendo mais frescas após o amanhecer. O ar no dossel urbano, ou seja, abaixo das copas das árvores e edifícios, pode ser até 6°C mais quente do que o ar em áreas rurais;

- ✓ A temperatura do ar é elevada em consequência do aquecimento das superfícies artificiais, que absorvem mais calor solar do que a vegetação natural;
- ✓ As diferenças de temperatura são realçadas quando os dias estão calmos e claros;
- ✓ São mais intensas nas áreas onde há maior desenvolvimento urbano e menor quantidade de vegetação e
- ✓ O ar mais quente das ilhas de calor apresenta-se na “camada limite”, ou seja, a camada de ar que abrange até 2000 m de altura da superfície. Esse efeito é provocado pela inversão térmica, o fenômeno das ilhas de calor é caracterizado pela inversão das temperaturas dos locais e pelos poluentes do ar.

Oliveira (1998) ressalta que a ilha de calor ocorre durante o período da noite, pois ocorre a liberação de energia térmica armazenada durante o dia nos ambientes urbanos, e no período de inverno, esse efeito é mais marcante que no verão. Oke (1987) acrescenta que os picos de calor ocorrem cerca de três a quatro horas após o pôr do sol.

Lombardo (1985) destaca que a poluição, ao refletir a luz solar, influi na absorção e remissão da radiação em áreas urbanas, gerando assim, um excedente de temperatura, que retarda a sua dispersão. Apesar de diminuir a radiação solar, os poluentes aumentam a radiação de ondas longas, advindas das reflexões das radiações das superfícies urbanas, ou seja, das radiações terrestres.

O estudo da ilha de calor deve ser condicionado também à concentração dos edifícios, e aos efeitos de transformação de energia, advindos das estruturas verticais, e aos materiais do espaço físico construído, como asfalto e paredes de concreto. Conforme Pérez-Urrestarazu *et al.* (2016) descrevem, os edifícios mais altos são um exemplo das alterações da superfície da terra por utilização de materiais que retêm o calor. Essas superfícies verticais absorvem a radiação solar que é subsequentemente novamente irradiada na forma de calor, aumentando assim, o efeito de aquecimento das zonas urbanas.

Segundo Junior *et al.* (2011), deve-se dar importância aos processos que ocorrem na atmosfera e que geram os diversos climas por meio de fluxos de energia. A partir

da entrada da energia solar, os componentes responsáveis por esses fluxos se encontram com o ambiente urbano e transformam a energia. Dentre esses fluxos, o homem e suas interferências possuem um papel decisivo para o sistema, tanto que os produtos do Sistema de Clima Urbano (S.C.U) são focados nos canais de percepção do homem, tornando-o referencial para as soluções.

Monteiro (2003) elaborou um diagrama visando a auxiliar na compreensão e caracterização geral dos três canais perceptivos às relações sistêmicas que se estabelecem no S.C.U:

- ✓ **Conforto Térmico** - engloba as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a essa noção. É um filtro perceptivo bastante significativo, pois afeta a todos permanentemente. Constitui, seja na climatologia médica, seja na tecnologia habitacional, assunto de investigação de importância crescente;
- ✓ **Qualidade do Ar** - a poluição é um dos males do século e talvez aquele que, por seus efeitos mais dramáticos, atraia mais a atenção. Associada às outras formas de poluição (água, solo etc.), a do ar é uma das mais decisivas na qualidade ambiental urbana;
- ✓ **Meteoros do Impacto** - aqui estão agrupadas todas aquelas formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiro), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestade), que assumindo, eventualmente, manifestações de intensidade, são capazes de causar impacto na vida da cidade, perturbando-a ou lhe desorganizando a circulação e os serviços.

Para Monteiro (2003), os componentes termodinâmicos do clima são referências para a ação do conforto térmico urbano e fundamentais para a resolução de problemas do clima. Essas análises termodinâmicas fornecem informações básicas de criação de mecanismos de adaptação de espaços urbanos.

Pode-se concluir que existem diversos fatores para a determinação de um clima urbano, como a geometria das edificações, os materiais de revestimento do solo, a ventilação urbana entre outros.

### **2.1.7. Conforto térmico em espaços públicos abertos**

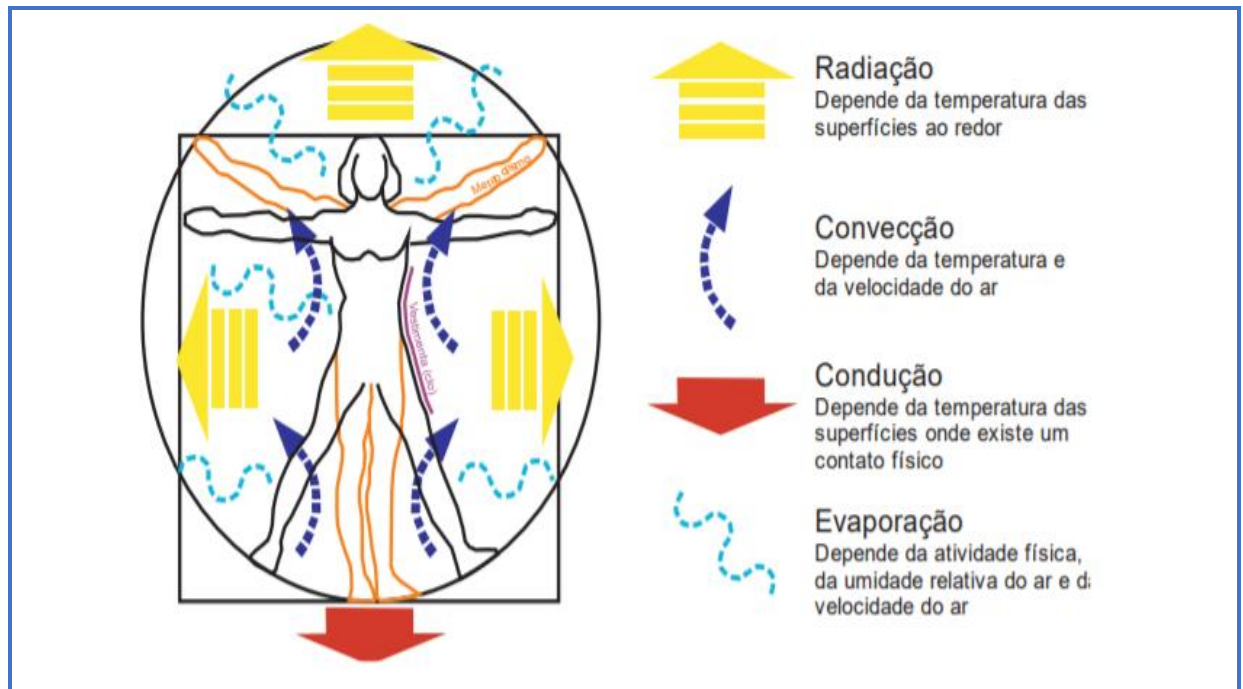
O conforto térmico é uma sensação sentida pelo corpo humano, e, portanto, subjetiva, relacionada aos fatores físicos, psicológicos e fisiológicos. Os físicos são aqueles ligados às trocas de calor entre o corpo humano e o meio. Os fisiológicos são os fatores relacionados com as reações internas do organismo, como transpiração e outros. Os psicológicos são aqueles relacionados com as respostas das sensações do homem advindas de percepções e de experiências (LAMBERTS, 2016).

O mecanismo fisiológico do homem para manter-se a uma temperatura corpórea próxima de 37°C é chamado de termoregulação. Esse mecanismo permite que o organismo se adapte às diversas alterações do clima (RUAS, 1999 *apud* PAULA, 2004). Rossi, Minella e Krüger (2009) acrescentam que esse equilíbrio depende das condições ambientais como velocidade do ar, umidade relativa e outros e das características individuais, peso, altura, idade, sexo, tipo de vestimenta e atividades.

Lamberts (2016) descreve que por meio da alimentação o metabolismo do organismo adquire energia. Porém apenas 20% é transformada em atividade externa, como o trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor para manter a temperatura interna. O calor gerado pelo organismo pode variar de 100 W a 1.000 W, sendo uma parte desse calor gerado é necessário, como já dito, para o funcionamento fisiológico do organismo e a outra parte, para o desenvolvimento das atividades externas. Essa saída de energia se dá por meio de processos na pele: por convecção e radiação e por evaporação do suor e por dissipação da umidade da pele. Por meio da respiração: por convecção e evaporação. As perdas por convecção e radiação são por calor sensível que corresponde ao processo de trocas de calor. Já as perdas por evaporação são perdas de calor latente, ou seja, pelos processos de transformação de energia do vapor d'água (Figura 13).



Figura 13 - Processos de manutenção do equilíbrio térmico



Fonte: Lamberts (2016, p. 49).

Sendo assim, o organismo experimenta a sensação de conforto térmico quando está em equilíbrio térmico com o ambiente, e influenciado pelas seguintes variáveis humanas e ambientais: No primeiro caso constituem-se como:

- **Metabolismo gerado pela atividade física** que se referem às atividades externas como o trabalho e as atividades basais internas que são aquelas relacionadas ao funcionamento dos órgãos do corpo (ROMERO, 1988).

- **Resistência térmica** é a resistência pela vestimenta que depende diretamente do tipo de material. É medida por meio das trocas secas relativas do indivíduo. Sua unidade é o clo, originada de *clothes*. Assim:  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{oC/W}$  = 1 terno completo.

A Tabela 2 apresenta os índices de resistência térmica, representado pela sigla:  $I_{\text{clo}}$ , para as principais peças de roupa. Observa-se que cada componente da vestimenta de um indivíduo possui sua respectiva resistência (LAMBERTS, 2016).

Tabela 2- Índices de resistência térmica das principais peças de roupa

Vestimenta	$I_{clo}$	Vestimenta	$I_{clo}$
Meia calça	0,10	Colete em tecido leve	0,15
Meia fina	0,03	Colete em tecido pesado	0,29
Meia grossa	0,05	Sueter em tecido pesado	0,37
Calcinha e sutiã	0,03	Saia grossa	0,25
Cueca	0,03	Vestido leve	0,15
Cuecão longo	0,10	Vestido grosso manga comprida	0,40
Short	0,11	Jaqueta tecido leve	0,22
Bermuda	0,15	Jaqueta tecido pesado	0,49
Camiseta de baixo	0,09	Calça fina	0,20
Camisa de baixo mangas compridas	0,12	Calça média	0,25
Camisa manga curta	0,15	Calça flanela	0,28
Camisa fina manga comprida	0,20	Sandálias	0,02
Camisa manga comprida	0,25	Sapatos	0,04
Camisa flanela manga comprida	0,30	Botas	0,08
Blusa com mangas compridas	0,15		

Fonte: Lamberts (2016)

Além disso, variáveis como sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa e, portanto, devem ser consideradas na análise.

Já as variáveis ambientais são: temperatura do ar; velocidade do ar; umidade relativa do ar, conforme explicado anteriormente, e temperatura radiante média. A temperatura radiante média descreve o ambiente radiante em um ponto, medida por meio do instrumento de medição chamado termômetro de globo (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997).

As condições de conforto térmico são produto de uma série de variáveis. Para avaliar tais condições, devem ser levadas em consideração as atividades desenvolvidas pelos indivíduos. Segundo Frota e Schiffer (2003), as condições de conforto térmico são dependentes das atividades desenvolvidas e da vestimenta, além das variáveis do ambiente, que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Dessa forma, os índices de conforto térmico procuram englobar, em um mesmo parâmetro, o efeito conjunto dessas variáveis. Em geral, esses índices são desenvolvidos, fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo, para a partir daí relacionar as variáveis do ambiente explicadas no próximo tópico a seguir.

### 2.1.8. Índices de conforto térmico

Segundo Goulart *et al* (1994), considerações psicológicas e fisiológicas estão envolvidas para a definição de conforto térmico. Diante disso, como forma de expressar todas as variáveis do estudo de conforto térmico, vários modelos foram criados como um ponto de partida para a melhor compreensão dessas considerações. Gulyás, Unger e Matzarakis (2006) complementam que os índices foram desenvolvidos para descrever e quantificar o ambiente térmico do homem e os fluxos de energia entre o corpo e o ambiente.

Frota e Schiffer (2003) relatam que mesmo com as diversidades das variáveis para o conforto térmico e, variando uma ou até todas, as condições finais podem resultar em sensações ou respostas análogas ou até iguais. Em decorrência disso, foram desenvolvidos os índices que agrupam as condições que proporcionam as mesmas respostas — os índices de conforto térmico.

Para tanto, diferentemente classificações dos índices foram baseadas em propostas de modelo teóricos adotada, como:

- ✓ **Índices Biofísicos** – que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o meio ambiente correlacionando os elementos de conforto com as trocas de calor que as originam;
- ✓ **Índices Fisiológicos** – que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de elementos do clima, como temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar;
- ✓ **Índices Subjetivos** – que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto variam.

Conforme Goulart *et al* (1994), no início das pesquisas sobre conforto térmico, as mesmas eram voltadas para situações de condições fabris, principalmente para o trabalho, como Haldane em 1905, onde pesquisou sobre condições térmicas em

minas em Cornwall. Nos trópicos, Ambler (1955) verificou que a temperatura efetiva poderia ser aplicada para europeus morando na Nigéria. Rao (1952) incorporou a velocidade do vento e umidade específica para a determinação da temperatura efetiva na cidade de Cálcuta. Nos países subtropicais, Drasdale (1950) contribuiu com a análise de que a temperatura do bulbo seco representaria uma escala de conforto para o clima quente e seco na Austrália. Em países de clima temperado, surgiram pesquisas como de Winslow et al (1937) que demonstraram que o equilíbrio das trocas térmicas era por meio dos processos de evaporação, convecção e radiação. Após a metade do século Yaglou et al (1950) aperfeiçoaram os índices por meio da modificação da temperatura efetiva para temperatura equivalente, incluindo as trocas por radiação. Givoni (1969) criou o Índice de Stress Térmico (IST), um mecanismo de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente, considerando a taxa metabólica, como o suor para correlacionar as trocas térmicas com o ambiente. Fanger em 1967 elaborou uma equação determinada “equação de conforto”, que permite por meio de uma determinada combinação das variáveis pessoais (tipo de atividade física e vestimenta), calcular todas as combinações das variáveis ambientais (temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade relativa e temperatura do ar) que produzem o conforto térmico. Nos anos mais recentes, os índices foram apurados e refinados, assim como modelos foram desenvolvidos utilizando equipamentos de medição. Assim autores como Fanger e Roler (1970) usaram o Índice de Pessoas Insatisfeitas (Predicted People Dissatisfied - PPD) para complementar a avaliação do Índice de Voto Médio Estimado (Predicted Mean Vote- PMV).

O índice desenvolvido na Europa- Voto Real de Sensação (ASV), recentemente, foi resultado do projeto *RUROS-Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces* (NIKOLOPOULOU, 2004). O projeto foi desenvolvido entre 2001 e 2004 e teve como objetivo a análise dos ambientes térmicos em espaços abertos. Para tanto, foi avaliada a satisfação dos usuários por meio da aplicação de questionários com a utilização de levantamento de aspectos térmicos. Nikolopoulou (2004) considera importante adotar modelos que utilizem dados já disponíveis. Para isso, foi proposto um modelo combinado de conforto que possa ser representativo das diversas realidades climáticas. Assim, o ASV baseia-se em dados de estação meteorológica de cada localidade e seus elementos climáticos, empregando uma equação linear

simples para predição de conforto.

Recentemente Nikolopoulou e Lykoudisb (2006) avaliaram a sensação térmica real dos transeuntes, em áreas com diferentes características de clima, em sete cidades europeias (Atenas, Salónica, Milão, Fribourg, Cambridge, Sheffield e Kassel). A Temperatura Equivalente Fisiológica (PET), o Índice de Temperatura e Umidade (THI) e o Índice de Sensação Térmica (K) foram comparados aos dados reais. Os resultados mostram que, para qualquer dado de sensação térmica real, de acordo com PET, THI e K, houve correlação com a temperatura média registrada no local.

Conforme Lamberts (2016), o PET é um índice físico utilizado para descrever a situação térmica de uma pessoa, incluindo parâmetros como temperatura radiante média (MRT), temperatura do ar ( $T_a$ ), velocidade do vento ( $v$ ) e umidade relativa (HR). Ela é definida como a temperatura equivalente fisiológica em um determinado lugar (exterior ou interior) e é equivalente à temperatura do ar em ambiente interior normal.

Rossi, Minella e Krüger (2009) apresentaram os resultados de uma pesquisa, realizada em Curitiba, de conforto em espaços abertos, com o objetivo de verificar a sensação de conforto térmico dos pedestres. Foi realizado um levantamento das variáveis ambientais e pessoais, em uma rua, sob condições de verão. Para analisar a sensação de conforto térmico dos usuários da rua, foram utilizados os índices PMV, PET e o índice *Standard Effective Temperature* Nova Temperatura Efetiva Padrão (SET). O SET é definido como “a temperatura equivalente à temperatura do ar na qual, em um ambiente de referência, o indivíduo apresenta a mesma temperatura da pele e a mesma fração de pele coberta por suor regulatório que no ambiente em questão” (MONTEIRO, ALUCCI, 2005). Ao final do estudo, verificaram diferenças entre dados dos índices de conforto térmico, em decorrência das diferentes faixas utilizadas para cada índice. Assim, foi concluído pelos autores a necessidade de se determinar uma faixa de conforto para o clima do local adequando assim as condições climáticas.

Abreu-Harbach *et al.* (2014) avaliaram a influência da geometria urbana no conforto térmico humano em cânions viários da cidade de Campinas-SP por meio de

medições de campo, entrevistas com pedestres e simulações computacionais, utilizando o *software RayMan Pro*. Foram utilizados os resultados de índices como o Voto Médio Estimado (PMV) em comparação com o Temperatura Equivalente Fisiológica (PET). Foram selecionados dois cânions viários representativos da cidade de Campinas em zonas de alta e baixa densidade de construção. Ao final, concluíram que os PET são influenciados pelo sombreamento e velocidade do vento nas duas ruas, pois à medida que a velocidade do vento aumenta ou o ponto de medição é submetido à sombra, os valores do PET diminuem.

Takenaka e Faria (2003) estudaram a relação entre a morfologia e o ambiente térmico, em trechos de vias públicas na cidade de Bauru-SP. Foram realizadas medições de temperaturas e velocidade do vento, juntamente com a observação dos pedestres em relação ao tipo de vestimenta usada e atividade. Com os dados medidos, calcularam-se dois índices de conforto térmico para comparação: o PMV e o PET. A pesquisa demonstrou a importância do sombreamento das áreas de pedestres nas vias públicas como um dos fatores de melhoria da qualidade do espaço.

Com relação a esses índices de conforto térmico, duas principais abordagens são consideradas. A primeira, uma linha analítica de avaliação, busca explicar as respostas das pessoas sobre as sensações térmicas humanas em termos físicos e pela transferência de calor fisiológica. Já a segunda abordagem, o modelo adaptativo, é baseada em entrevistas sobre o conforto térmico em pesquisas de campo. O modelo considera o homem como um agente ativo, que interage com o ambiente em resposta às suas sensações e preferências térmicas (NICOL; HUMPHREYS, 2002).

A linha analítica considera que os indivíduos são receptores de estímulo térmico e, portanto, os efeitos na sensação de conforto podem ser mediados por meio de trocas de calor entre o corpo humano e o meio. São baseados em experimentos em laboratórios que objetivam compreender a relação causal entre os comportamentos das variáveis ambientais com a resposta de sensação térmica. Já os modelos adaptativos baseiam-se em resultados de pesquisas de campo que medem as variáveis ambientais e as respostas correspondentes de sensação térmica dos

indivíduos realizando suas tarefas habituais (PEREIRA E ASSIS, 2010).

O modelo adaptativo proposto por Michael Humphreys (1978) pressupõe que as pessoas se adaptam diferentemente ao lugar onde estão e as ações adaptativas são uma forma de ajuste do corpo ao meio térmico. Nos estudos em campo, as variáveis ambientais são medidas diretamente no ambiente real, com as pessoas desenvolvendo suas atividades de lazer ou de trabalho. O mesmo autor esclarece alguns problemas do modelo adaptativo, primeiramente, devido às condições ambientais serem inerentemente variáveis e a dificuldade de medi-las, podendo tornar os erros maiores quando se tenta prever por uma análise estatística. Além disso, existe uma dificuldade em generalizar os dados para outros locais que não possuem as mesmas características.

Pereira e Assis (2010) relatam que apesar de suas vantagens, o modelo de Humphreys (1978) que apresentou boa aproximação para os locais com climas sem grandes amplitudes térmicas. Os índices adaptativos possuem limitações na determinação das condições de conforto térmico, pois esse modelo considera somente a variável temperatura do ar, não sendo suficiente para destacar a influência das outras variáveis. Assim, em situações mais complexas, observa-se a necessidade de análise simultânea de outros elementos climáticos.

Para a definição de alguns desses índices analíticos são utilizadas escalas de conforto térmico, que correlacionam números com graduações com padrões de sensações térmicas. Dentre esses grupos de escalas o estudo realizado pelo pesquisador Fanger (1972), o principal representante da linha analítica de avaliação das sensações térmicas humanas, a partir de estudos realizados na Dinamarca, criou o índice de Voto Médio Estimado (PMV).

A partir dos conceitos do Modelo Adaptativo, alguns autores buscaram reformular os conceitos do Modelo do Balanço Térmico por meio de uma revisão do índice PMV e suas incorreções. Esse estudo estabeleceu três condições fisiológicas e ambientais necessárias para que a pessoa se encontre em estado de conforto térmico: estar em neutralidade térmica, possuir a temperatura da pele e taxa de secreção de suor dentro de limites aceitáveis de acordo com a atividade e não estar sujeito a nenhum

tipo de desconforto térmico localizado, como: correntes de ar indesejáveis, diferenças na temperatura do ar no sentido vertical, contato com pisos aquecidos ou resfriados. Esse tipo de pesquisa forneceu subsídios para o equacionamento e cálculos analíticos de conforto térmico das normas internacionais (ALMEIDA, 2010 *apud* ANTONELLI, 2012).

Sendo assim, o desenvolvimento de normas para determinação da sensação térmica e o grau de desconforto em ambientes termicamente moderados, a International Organization for Standardization - ISO 7730 de 1984, *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria* (ISO 7730/2005) e a organização americana *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* elaborou a norma *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE Standard 55-2013 foram baseadas na abordagem analítica para estipular os requisitos de conforto térmico em categorias. (LAMBERTS et al, 2011).

A norma estabelece critérios para estipular a sensação de conforto térmico em ambientes, por meio do PMV e do Porcentagem de Pessoas termicamente Desconfortáveis (PPD) representando a sensação térmica esperada dos usuários, conforme tabela 3 de escalas mostrada a seguir. Os votos são representados por uma escala de 7 pontos.

Tabela 3- Escala de sensação térmica

Sensação térmica Pontos	
Muito quente	+3
Quente	+2
Leve sensação de calor	+1
Confortável	0
Leve sensação de frio	-1
Frio	-2
Muito frio	-3

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2017).

A equação que origina o índice PMV descrita abaixo permite expressar a pontuação que uma pessoa dá a um ambiente, a partir da medição dos parâmetros físicos do



ambiente: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade, e da taxa metabólica e vestuário do próprio sujeito (LAMBERTS, 2016).

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \cdot L$$

Sendo M: Atividade desempenhada pelo indivíduo e

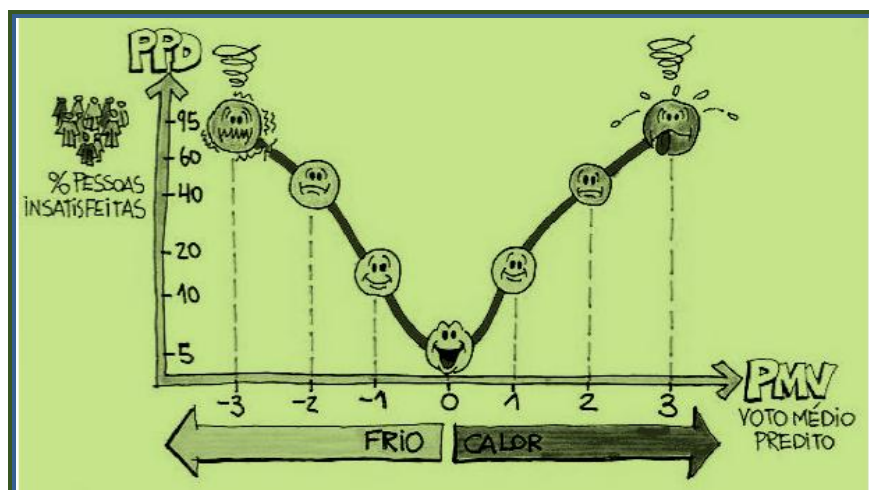
L: Carga térmica atuante sobre o corpo.

Segundo Lamberts (2016) a partir dos resultados que demonstraram que pessoas que votaram  $\pm 3$  e  $\pm 3$  na escala sétima da ASHRAE estariam termicamente insatisfeitos ou desconfortáveis, foi possível apresentar a equação de cálculo da Percentagem predita de Pessoas termicamente desconfortáveis (PPD), como abaixo é descrita:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp [-(0,03353 \cdot VMP^4 + 0,2179 \cdot VMP^2)]$$

Assim, o PPD pode ser determinado analiticamente, extraído da Figura 14 abaixo. O gráfico apresenta a relação entre o índice PPD e o PMV, sendo o eixo X a escala do PMV e o eixo Y a porcentagem de pessoas insatisfeitas.

Figura 14- Gráfico de relação dos índices PPD e PMV



Fonte: Lamberts (2017).

Para tanto, diversas metodologias têm sido aplicadas para realizar estudos sobre a determinação dos índices de conforto térmico em espaços públicos, com a finalidade

de quantificar o comportamento humano diante do ambiente térmico. Segundo Monteiro e Alucci (2007), os espaços abertos, em relação à ambiência térmica, possuem maior complexidade que os espaços fechados. Isso se deve, principalmente, às variáveis como radiação solar, ventos, atividades físicas diferenciadas, possíveis taxas de suor elevadas, entre outros fatores. Trabalho mais recente, dos mesmos autores, afirma que os estudos sobre o conforto térmico em espaços urbanos abertos, principalmente os que abordam o microclima e a sensação térmica, foram desenvolvidos apenas recentemente no Brasil (MONTEIRO; ALUCCI, 2012).

Como foi apresentado, a escolha do tipo de índice de conforto é relacionada com a abordagem metodológica e com a relação das condições ambientais com a atividade desenvolvida pelo indivíduo. De fato, existem muitos índices de conforto térmico, porém, para fins de aplicação às condições ambientais e para o estudo da metodologia de modelagem computacional serão utilizados o PMV e o PPD, que representam a linha analítica e foram adotados para a utilizados do software de simulação.

Considerando-se os resultados expostos, observa-se que os índices térmicos existentes são influenciados por elementos físicos presentes nas cidades, como a vegetação. Nesse sentido, as condições do ambiente são influenciadas pelas áreas verdes, que desempenham várias funções e nas cidades são capazes de influenciar no microclima urbano. No item a seguir será apresentado alguns desses benefícios.

## 2.2.A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO MEIO URBANO

Com o desenvolvimento das cidades e conseqüentemente diminuição das áreas verdes, apareceram problemas de ordem ambiental decorrentes da ausência dessas áreas. Com isso, áreas urbanas que mantiveram ou criaram áreas verdes estavam associadas à melhor qualidade de vida. As áreas verdes podem interferir no seu entorno, de acordo com a quantidade, distribuição, volume e tamanho. Essa qualidade de vida, associada às áreas verdes, é refletida de diversas formas, que vão desde amenização climática, ruído, conforto psicológico, paisagismo, atuação sanitária, opção de recreação, valorização imobiliária e preservação de fauna e flora

(ANDRADE, 2009).

De modo similar, Gonçalves *et al.* (2012) afirmam que os benefícios físicos e climáticos no meio urbano como atenuação da incidência de radiação solar, a amenização do ruído e da poluição do ar, são algumas das características da vegetação. Além disso, a arborização possui o potencial de valorização de áreas urbanas e edificações do entorno imediato.

Com relação à primeira função, a vegetação intercepta, reflete e absorve os raios solares, diminuindo a temperatura do ar. No período de verão, as áreas verdes reduzem as temperaturas no entorno, proporcionalmente equivalente ao calor latente necessário para evaporar a água transpirada (NOGUEIRA, 2011).

A arborização urbana captura gás carbônico da atmosfera, uma vez que a vegetação absorve esse gás por meio do fenômeno da fotossíntese. (MUNEROLI & MASCARÓ, 2010).

Outra função desempenhada pelas áreas verdes é a de interceptar as águas pluviais. As áreas vegetadas funcionam como áreas permeáveis na cidade, e são capazes de reter a água, constituindo-se como retentoras hídricas naturais diminuindo, conseqüentemente, as enchentes. Além disso, a arborização funciona como corredor ecológico, ao fornecer conexão entre os locais que abrigam os seres vivos como insetos e pássaros, trazendo para a cidade um ganho ambiental significativo (BARBEDO *et al.*, 2005).

A função mais comumente associada às áreas verdes é a recreativa, pois oferecem diversos tipos de atividades ao ar livre e servem como ponto de atratividade para encontros (SZEREMETA e ZANNIN, 2013)

Conforme Milano (1984), a vegetação é responsável pela criação de barreiras físicas, absorvendo os ruídos advindos das atividades na cidade.

Segundo Lima e Amorim (2012), as áreas verdes atuam como elemento estético, pois podem oferecer cor e plasticidade ao meio urbano, além de servirem como

ferramenta de equilíbrio do ambiente urbano.

A implantação de áreas verdes, possui capacidade de valorização econômica do entorno urbano, por meio da agregação dos benefícios e consequentemente, valores indiretos para os empreendimentos ao redor das áreas vegetadas (MARTINS JUNIOR, 1996).

Lobodo e De Angeli (2005) consideram que as áreas verdes são elementos que influenciam na saúde e nas interações socioculturais dos grandes centros, gerando bem-estar ao longo de diferentes ciclos da vida humana, através de hobbies para idosos e adultos e educação para as crianças.

Conforme Lima Neto (2011 *apud* MARTINI, 2013), a presença de vegetação nas cidades é essencial para a estrutura e dinâmica da paisagem urbana.

Conforme demonstrado pelas diversas bibliografias, a qualidade de vida urbana e os benefícios psicológicos estão diretamente relacionados a existência da vegetação no meio urbano.

### **2.2.1. Benefícios psicológicos da vegetação**

Os efeitos positivos da natureza, especialmente das plantas, para a saúde e o bem-estar, têm sido pesquisados e documentados por diversos autores (KELLERT, 2012; KAPLAN, 1995; BURCHETT *et al.*, 2010). Os ambientes naturais ajudam a melhorar o estado de humor humano e a concentração (ULRICH, 1981; ULRICH *et al.*, 1991). Dados também demonstram os benefícios do contato humano com a natureza no que se refere à: redução do estresse, cura de doenças, restauração da atenção, desenvolvimento de habilidades expressivas, além de melhorar a capacidade cognitiva, imaginativa e social (ULRICH, 2000; BERMAN *et al.*, 2008).

Os sentimentos que envolvem o homem e o ambiente podem ser expressos por meio das relações conhecidas como sentimentos de biofilia (KELLERT; WILSON, 1993). Essa é uma teoria que aborda a interligação vital entre a natureza e a

humanidade, baseada em uma hipótese de que os seres humanos possuem uma tendência inerente de se afiliar à Natureza. Para Wilson (1986), Biofilia implica afeição por plantas e outros seres vivos. Nesse sentido, Grinde e Patil (2009) afirmam que a adição de elementos da natureza, em espaços, pode induzir mudanças no nível de estresse, saúde e bem-estar humano. Grinde (1996) relata que a presença visual das plantas pode ser um desses fatores de redução de estresse, como as respostas afetivas para estímulos visuais, consideradas estéticas, que podem liberar tensão.

Segundo Bulut e Yilmaz (2007), a atração por áreas recreativas está diretamente associada à riqueza de recursos naturais e visuais. Os autores afirmam que os elementos da paisagem não estão associados somente ao potencial estético, mas também aos valores econômicos, sociais e biológicos.

O estudo desenvolvido por Dunnett e Qasim (2000) apresentou a influência dos valores benéficos do jardim, inclusive em bairros e comunidades, pois nas entrevistas realizadas, os valores sobre o desenvolvimento social urbano foram reconhecidos. Esses valores identificados são citados por outras literaturas (KAPLAN; KAPLAN, 1989; HERZOG, 1995).

A restauração da atenção foi analisada por Kaplan, onde observou que este fator foi significativamente mais acentuado em casas com vegetação integrada à construção, comparado com construções sem vegetação. Além disso, com base na preferência, as pessoas tendem a preferir ambientes naturais mais do que ambientes construídos, e ambientes construídos com água, árvores, e outra vegetação mais de ambientes construídos sem tais recursos (Kaplan & Kaplan, 1989). Ainda com relação à eficácia das áreas verdes e naturais na restauração da atenção, existem outros trabalhos, como os de Hartig e Staats (2003), Herzog (1995), Kaplan (1984).

Portanto, a presença da vegetação influencia psicologicamente as pessoas, presta serviços ecossistêmicos e interfere positivamente no microclima urbano.

### **2.2.2. Benefícios da vegetação no clima urbano**

Segundo Pillar (1995), o clima também é influenciado pela vegetação, evidenciado pela relação entre zonas climáticas e os biomas. As massas vegetadas fazem parte da forma urbana, uma vez que influenciam o clima da cidade, reduzindo as temperaturas urbanas (NOGUEIRA, 2011). Os processos e as funções da vegetação sobre o clima serão descritos a seguir.

Existem dois mecanismos pelo qual a vegetação influencia o meio: o direto – por sombreamento, reduzindo o ganho solar das superfícies e resfriando o ambiente e o indireto – por meio da evapotranspiração, processo pelo qual as plantas produzem o vapor de água, regulando a umidade do ar, o que também contribui para o resfriamento (MASCARÓ, 2006).

Como exemplo do método direto, as sombras dos agrupamentos arbóreos possuem temperatura de 3°C a 4°C menor que nas áreas expostas à radiação do sol, e essa diferença é ainda mais acentuada entre as áreas com sombras e ensolaradas (MASCARÓ, 1996). De acordo com Geiger (1990), a vegetação funciona como uma zona de transição entre a superfície do solo e a atmosfera, visto que recebe e emite radiação solar, assim como o solo, e permite a passagem parcial do fluxo de ar, ou seja, constitui uma parte especial da camada de ar junto ao solo.

No método indireto, a energia solar se transforma em calor latente para realizar os processos vitais como a evapotranspiração, das quais em torno de 90% da radiação visível, 60% é de infravermelha absorvida (LABAKI *et al.*, 2011).

Conforme Mascaró (1996), parte da radiação solar que incide na vegetação é refletida e depende do albedo da superfície foliar. A outra parte absorvida depende da pigmentação das folhas. Essa absorção ocorre, em média, com 50% da radiação solar e 95% da radiação de onda terrestre. Ainda conforme o autor, por meio dessas propriedades delimita-se o controle da radiação solar pela vegetação, destacando-se outras características como a transparência, a cor e a espessura das folhas.

Por meio do sombreamento, tem-se uma atenuação da radiação de onda curta,

evitando os efeitos de reverberações. Em relação à radiação de onda longa, como existe uma redução no aquecimento da própria superfície da vegetação, consequentemente há diminuição do calor emitido por ela. Assim, a evapotranspiração resfria a vegetação e o ar adjacente (LABAKI *et al.*, 2011).

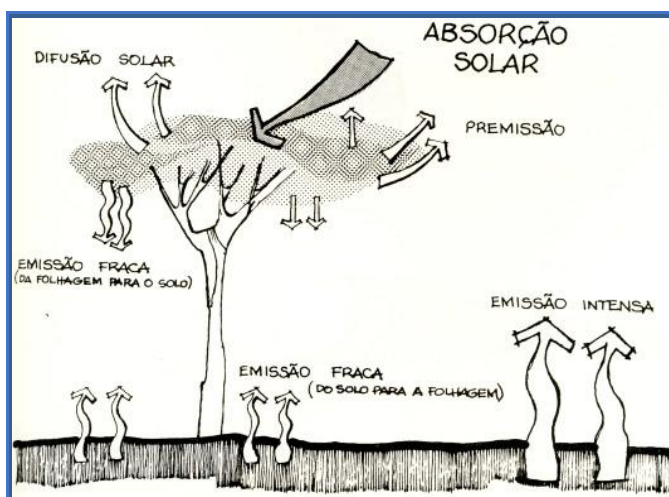
Observa-se que a temperatura sobre uma superfície gramada, em dias ensolarados de verão, é de 5° a 7°C menor que a temperatura da superfície construída (OLGYAY, 1968), pois as superfícies gramadas reduzem a absorção da radiação solar e a reflexão sobre as superfícies construídas.

Conforme Jaques, Nascimento e Cupertino (2016), as interações entre a vegetação e a temperatura do ar ocorrem por meio do controle da radiação solar, do vento e umidade do ar. A vegetação contribui também para atenuar a intensidade de precipitação e a concentração da umidade.

Segundo Paula (2004, p. 35), “[...] as árvores podem realizar o fenômeno da retenção de partículas de poluição dez vezes mais que os gramados e trinta a sessenta vezes maior que uma superfície asfaltada.”

Os efeitos da transformação da energia pela vegetação são representados pela Figura 15. A absorção solar transforma-se em menor emissão de calor por meio da folhagem e em outra parcela na difusão solar.

Figura 15- A espécie arbórea e a radiação solar



Fonte: Silva e Romero (2010).

Segundo Rocha, Lougon e Garcia (2009), a utilização da vegetação pode ser considerada uma solução recomendada para reduzir os efeitos da ilha de calor e da poluição urbana.

Dessa forma, vê-se que os efeitos da vegetação passam a ser cada vez mais almeçados em áreas urbanas, pois, com o crescimento das cidades, as superfícies passam a ser compostas de materiais urbanos, reduzindo a presença da árvore nesse cenário, em substituição, na maioria das vezes, por asfalto e concreto (SILVA; ROMERO, 2010).

Conforme Mascaró (2006, p. 535), as alterações dos usos do solo, tem-se a fragmentação das áreas verdes e a diminuição da porcentagem de cobertura vegetal. Para o autor, as “[...] áreas construídas e cobertura vegetal devem ser entendidas como medidas da intensidade de urbanização”.

Por fim, as áreas verdes, devido às suas características melhoram a qualidade de vida da população e a condição ambiental das cidades. Sendo assim, as pesquisas relacionadas a utilização de coberturas vegetadas para o incremento de superfícies verdes nas cidades são importantes como estratégias de mitigação dos fenômenos climáticos urbanos.

### **2.2.3. Superfícies vegetadas**

A utilização da vegetação na envoltória dos edifícios não é uma proposta recente, embora o uso dessa estratégia para promover a qualidade do meio urbano seja atual, sobretudo com enfoque na reabilitação urbana.

A história das coberturas verdes remonta épocas mais antigas como os Jardins Suspensos da Babilônia, em 600 a.C; no século XVIII, em muitos países europeus, na região do Norte da Europa (Figura 16) e em algumas cidades norte-americanas.

Conforme Mendes (2014), as construções vernáculas utilizavam cobertura de turfa, caracterizada por várias disposições de gramas entrelaçadas em solo.



Figura 16- Cobertura de turfa na Islândia

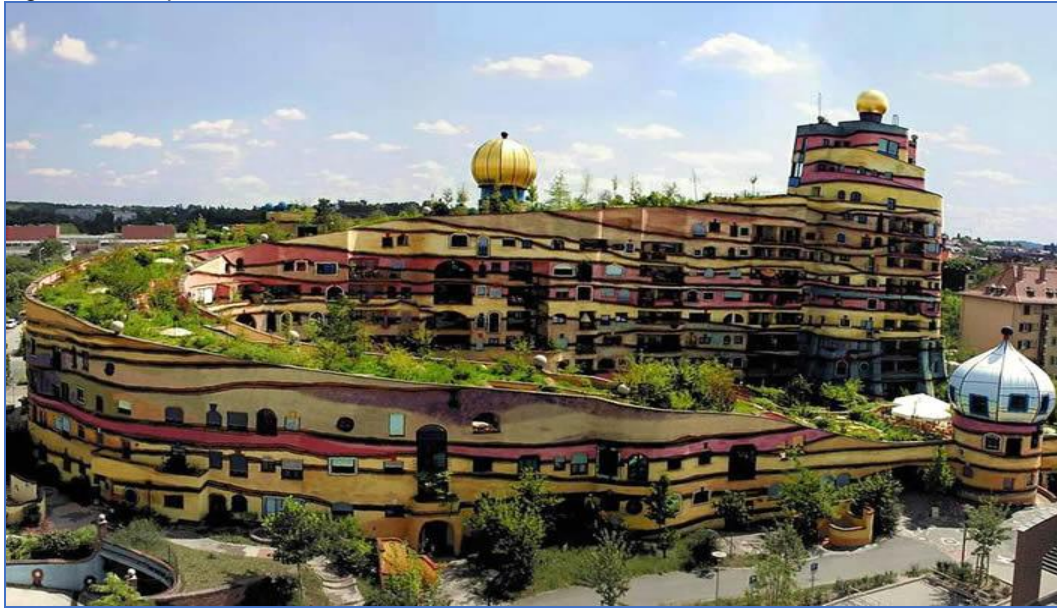


Fonte: Perine e Magliocco (2012).

Em 1920, com o avanço tecnológico, o conceito *Terraço Jardim* foi introduzido como um dos cinco pontos da arquitetura modernista (FERRAZ, 2012).

Segundo Willes (2014), na Europa central, nos anos 70, organizações privadas em conjunto com universidades começaram a desenvolver estudos na Alemanha, explorando a utilização das superfícies vegetadas associada aos benefícios de suas aplicações como os aspectos climáticos. A incorporação das fachadas e telhados com vegetação verde, nos projetos, foram vistos nos edifícios de Hundertwasser, na Alemanha, na década de 1980 (Figuras 17 e 18).

Figura 17- Arquitetura de Hundertwasser



Fonte: Disponível em:<<http://meiaseis.com>.> Acesso em: 20/09/2016

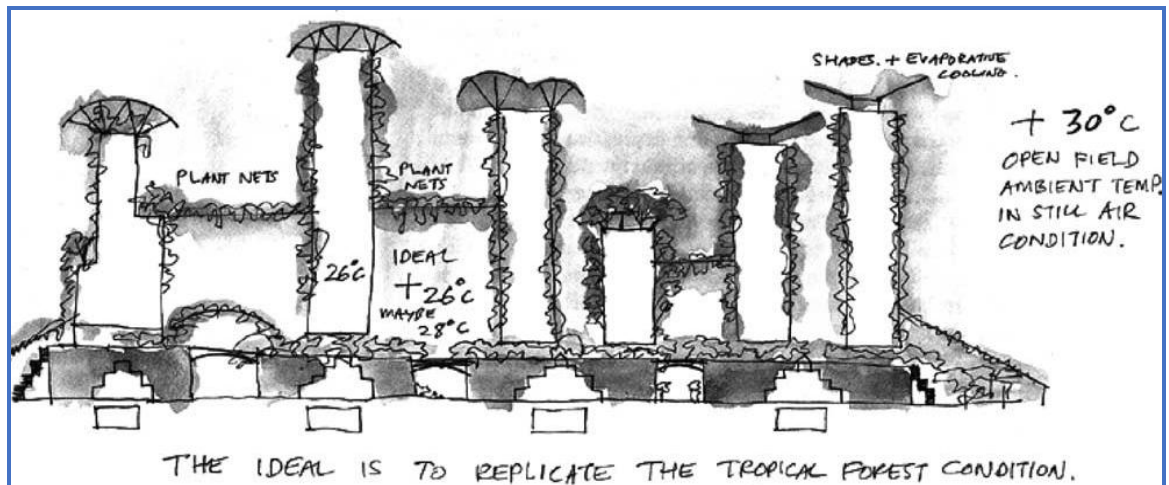
Figura 18- Arquitetura de Hundertwasser



Fonte: Disponível em:<<http://meiaseis.com>.> Acesso em: 20/09/2016

Atualmente, as abordagens da arquitetura contemporânea procuram incorporar a vegetação nos projetos, como é o caso de uma proposta de cidade com o intuito de replicar as condições da floresta tropical (Figura 19).

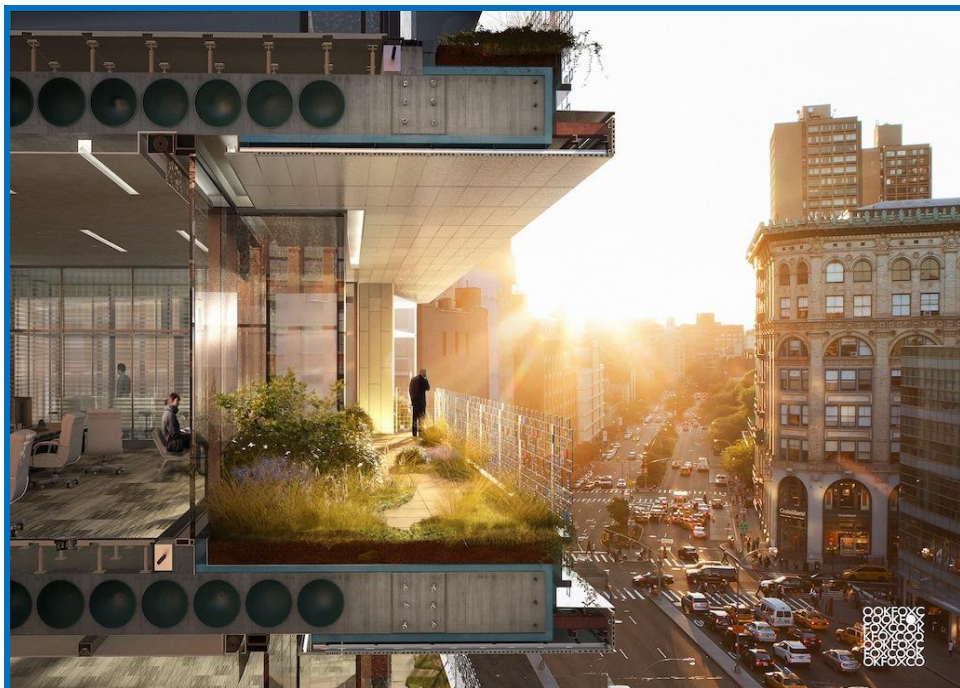
Figura 19- Proposta de megacidade tropical arrefecido por plantas



Fonte: Ong (2003).

O conceito do projeto de Cook + Fox Architects para o edifício 300 Lafayette Street, em Nova York explora a mesma ideia, na qual considera incluir as coberturas e varandas com vegetação, totalizando 1.068 m<sup>2</sup> de área vegetada de espécies nativas (Figura 20).

Figura 20 - Projeto do edifício 300 Lafayette Street



Fonte: Beatley (2017).

Essas abordagens contemporâneas, enfocando os múltiplos impactos da vegetação

na arquitetura, são chamadas de "biophilic Architecture" ou "biophilic Design" (KOHLER; SCHMIDT; LAAR, 2003). Almusaed e Asaad (2006) acrescentam que a arquitetura "biophilic" engloba a saúde humana, ecologia e sustentabilidade, de forma a integrar a formação arquitetônica.

Segundo ONG (2003), atualmente busca-se a inserção de plantas em espaço urbanos por meio da implantação de telhados e paredes verdes, sendo uma importante estratégia para criar espaços verdes em áreas urbanas densas, considerando o fato de que eles permitem a integração de vegetação em edifícios sem ocupação do solo, desde que se correlacione as vantagens de cada sistema, para determinado fim.

#### 2.2.3.1. Sistema construtivo de fachadas verdes

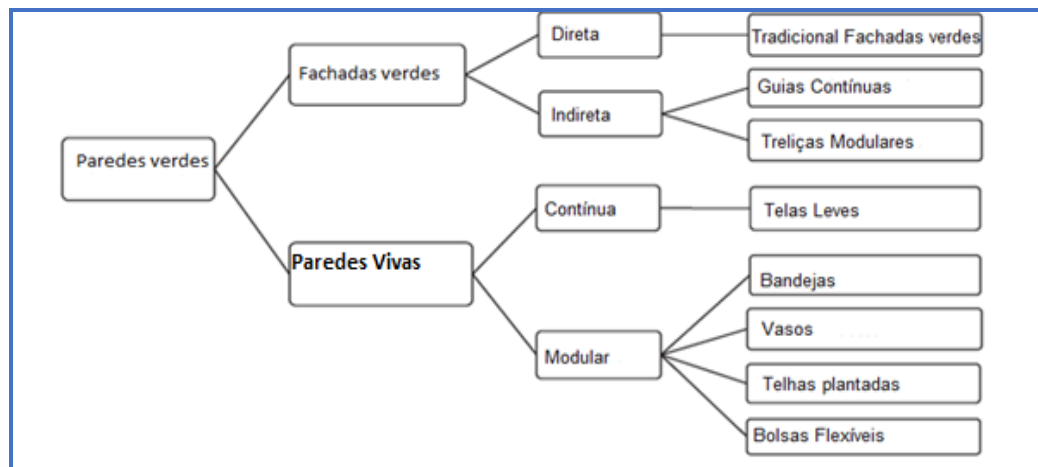
De acordo com Minks (2013), os muros verdes também são conhecidos como paredes verdes, fachadas vivas ou paredes vivas. Paredes verdes podem ser implantadas com a aplicação de diversas técnicas, como as plantas que escalam por si só, as plantas que precisam de um suporte ou de um sistema construído diretamente nas paredes.

De acordo com a afirmação de Peck *et al.*, 1999), o termo "jardim vertical" também é utilizado para definir o cultivo de plantas em cima ou contra a fachada de um edifício.

Dada a variação de terminologias utilizadas para caracterizar os tipos de tecnologias de superfícies vegetadas verticais, Manso e Gomes (2015) propuseram uma classificação para identificação dos sistemas utilizados, conforme Figura 21.



Figura 21- Classificação das paredes verdes de acordo com o tipo de tecnologia



Fonte: Manso e Gomes (2015).

De acordo com Manso e Gomes (2015), as paredes verdes podem ser subdivididas em dois sistemas principais: fachadas verdes e paredes vivas. A distinção entre esses dois sistemas é que, no primeiro, as plantas normalmente crescem ao longo do revestimento de parede e, no segundo, incluem-se materiais e tecnologia para suportar uma variedade de espécies de plantas, criando um crescimento uniforme ao longo da superfície.

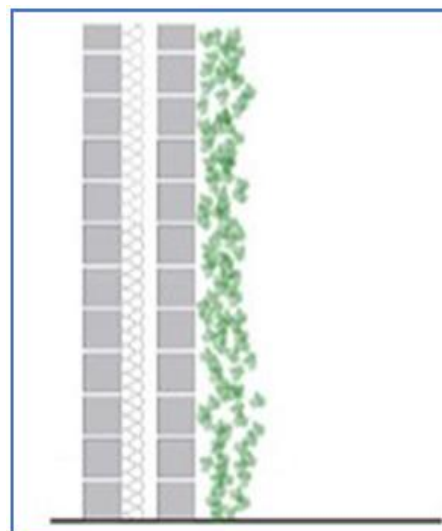
As fachadas verdes tipo direta tradicionais são constituídas de vegetação enraizada diretamente do solo. Caracterizam-se pela presença de espécies trepadeiras auto aderentes que são capazes de se fixarem diretamente na parede, constituindo um sistema considerado direto (Figura 22 e 23).

Figura 22 - Fachada verde tradicional direto



Fonte: Autora (2016).

Figura 23 - Corte esquemático – Fachada verde tradicional



Fonte: Martin e Knoops (2014)

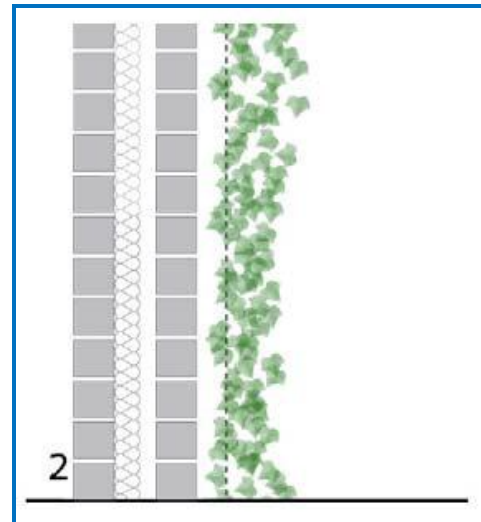
O sistema fachadas verdes tipo indireto necessita de algum tipo de suporte para a vegetação se desenvolver, como guias contínuas ou treliças modulares, sendo chamado de sistema contínuo ou modular. Os contínuos são baseados em uma única guia que dá o suporte para o crescimento da vegetação. A figura 24 apresenta o tipo de sistema indireto, na sua fase inicial de crescimento da vegetação em torno do suporte contínuo. A figura 25 representa o corte esquemático da técnica de sistema contínuo indireto.

Figura 24 - Sistema indireto de fachadas verdes indiretas



Fonte: S3I Group (2016).

Figura 25 - Corte esquemático – Sistema Contínuo



Fonte: Martin e Knoop, BBRI (2014)

Os sistemas de treliças modulares são soluções semelhantes ao sistema indireto contínuo, porém resultam de vários módulos metálicos para o desenvolvimento das plantas (Figura 26).

Figura 26- Sistema de treliças modulares



Fonte: Green Roofs (2008).

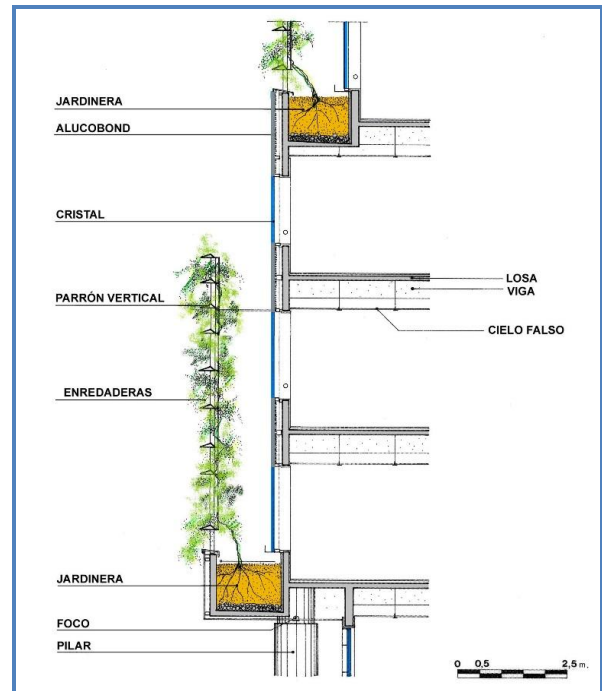
No Chile, os arquitetos Henry Browne e Borja Huidobro desenharam o edifício Seguro Nacional em Las Condes, Santiago, com a utilização de sistema de fachadas verdes tipo treliça (Figura 27). Na Figura 28, observa-se o corte esquemático do sistema, com uma porcentagem de área verde equivalente a 72,5% da área do terreno.

Figura 27 - Sistema de fachada verde – Treliça no Edifício Seguro Nacional, Santiago - Chile



Fonte: Archdaily (2017).

Figura 28 - Corte da fachada



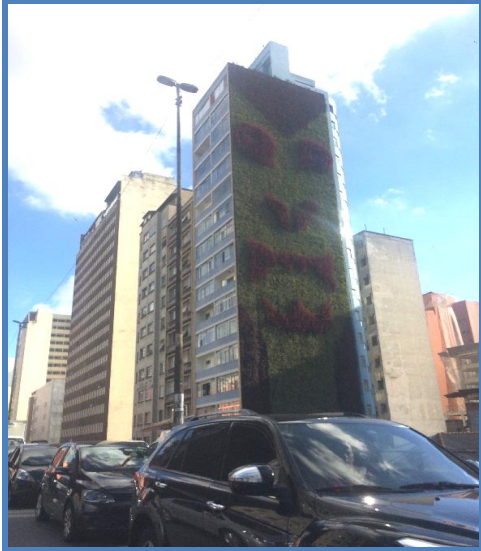
Fonte: Archdaily (2017).

De acordo com Manso e Gomes (2015), as paredes vivas são uma técnica recente para revestimento de paredes. Elas surgiram para viabilizar a aplicação das paredes verdes em edifícios altos, permitindo um crescimento mais uniforme ao longo da superfície vertical, além de permitir a inserção de uma variedade de espécies. Timur e Karaka (2013) acrescentam que os sistemas de paredes vivas podem ser compostos por painéis pré-vegetados, por módulos verticais ou por geotêxtis plantados, podendo ser feitos de plástico, poliestireno expandido, entre outros. Além disso, para realizar a manutenção das plantas, é usado um sistema de nutrição e irrigação automatizada.

O sistema de parede viva com utilização de geotêxtis foram aplicados na cidade de São Paulo, em uma das principais avenidas chamada de “Minhocão”. A técnica aplicada cobriu vários edifícios situados na mesma Avenida. A Figura 29 mostra um edifício com

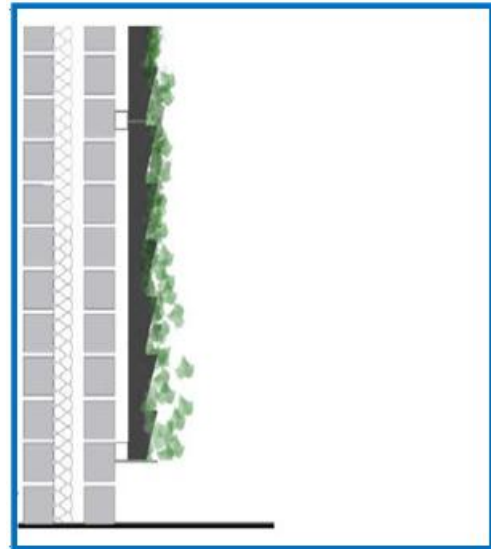
a aplicação das paredes vivas e a Figura 30 o corte esquemático do tipo de técnica com mantas.

Figura 29 - Sistema de paredes vivas com variedade de espécies - Edifício no Minhocão, São Paulo



Fonte: Autora (2017).

Figura 30 - Corte esquemático do sistema com mantas.



Fonte: Martin e Knoops (2014).

A aplicação de mantas geotêxtis também foi utilizada na Avenida 23 de Maio, em São Paulo (Figura 31).

Figura 31 - Mantas Geotêxtis – Av. 23 de Maio - São Paulo



Fonte: Autora (2017).

Os painéis tipo cavidade com emprego de módulos de plásticos foram desenvolvidos



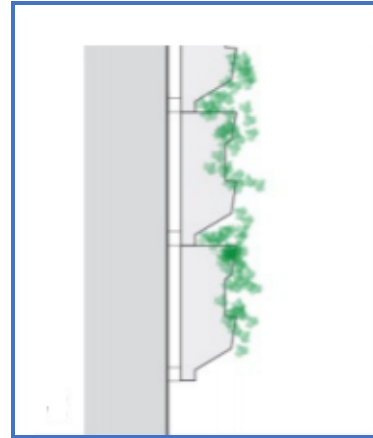
pela empresa Norte Americana *GSky Plant System* (Figura 32 e 33).

Figura 32 - Paredes vivas em módulos de plástico



Fonte: GSky Plant System (2017).

Figura 33 - Sistema modular



Fonte: Perini *et al* (2011)

Segundo Oliveira (2009), os componentes especiais dessas tecnologias são: os materiais, a fixação, a impermeabilização, o isolamento, a filtragem e a drenagem, as barreiras de raízes, os substratos e a seleção de plantas específicas para a localização e condições do solo e do clima.

Sheweka e Mohamed (2012) mencionam que, nos últimos anos, vários autores demonstraram as vantagens e desvantagens relacionadas à aplicação da vegetação para os edifícios. Muitas pesquisas comprovaram a técnica de fachada verde relacionada com o desempenho térmico do edifício, como a pesquisa realizada por Dunnett, N. e Kingsbury, N. (2008), na qual demonstraram os benefícios associados a integração da técnica de fachadas verdes assim como as recentes técnicas, materiais e plantas.

Conforme Greenroofs (2008), os benefícios associados à técnica de fachadas verdes são muitos. Entre eles pode-se citar:

- ✓ **Controle de radiação solar:** o sistema pode funcionar como *brise soleil*, para o sistema de cortina verde.

- ✓ **Aumento da biodiversidade:** as plantas trazem consigo uma variedade de animais e insetos, como borboletas, abelhas e ao mesmo tempo constituem uma flora para as cidades.
- ✓ **Melhoria estética:** a técnica gera uma melhoria estética, por meio das variedades de elementos que podem entrar na composição do paisagismo, com padrões de ritmos e formas para as paredes das edificações e podem proporcionar o bem-estar por meio da percepção com o contato com a natureza.
- ✓ **Controle da poluição:** as fachadas vegetadas possuem o potencial de absorver os poluentes advindos das atividades urbanas, como indústrias, locomoção de automóveis e ônibus;
- ✓ **Melhoria do conforto térmico nas edificações:** as superfícies vegetadas melhoram a capacidade de armazenamento térmico, podendo até afetar o condicionamento interno, dependendo do tamanho da área disponibilizada para a técnica como também o tipo de vegetação e a sua densidade. No sistema construtivo indireto de fachadas verdes, o ar fica entre a vegetação e as paredes, resultando em um incremento de isolamento térmico, sendo essa aplicação associada ao aquecimento e ao resfriamento.
- ✓ **Redução de ruído:** as vegetações contribuem com a diminuição dos níveis de ruído transmitidos por meio da reflexão do som. A influência depende do tipo de vegetação, a profundidade do solo, os materiais utilizados para a estrutura da técnica.
- ✓ **Proteção da estrutura das edificações:** o sistema é capaz de preservar os materiais utilizados na estrutura contra as intempéries, como chuvas e raios UV. Ao proteger a estrutura pela camada vegetativa, proporciona a diminuição de variações de temperatura dos materiais, ou seja, diminuem os ciclos de contração e dilatação aumentando a vida útil do mesmo.
- ✓ **Redução das ilhas de calor:** as fachadas verdes possuem o potencial de diminuir a temperatura do ar, pelos mecanismos de redução de calor refletido e evapotranspiração.

Köhler (2008) menciona que as vantagens do sistema de fachadas verdes é que elas são capazes de cobrir rapidamente a área e com pouca manutenção. Já os sistemas de paredes vivas são vantajosos em casos que não possuam espaço para

o enraizamento das plantas.

Scherer e Fedrizzi (2014) explica que a principal vantagem da utilização do sistema de cortina verde, por exemplo, em relação aos outros sistemas, é a possibilidade de aplicação em áreas com janelas, vidros, servindo como elemento de controle solar.

Lima Junior (2014) apontou como desvantagens, os fatores econômicos, tais como: manutenção e custo de aquisição e ao fator ambiental, o caso específico: proliferação de fauna indesejada. Em relação aos fatores tecnológicos, como a duração dos materiais e das plantas podem ser evitadas desde que projetadas de maneira a atender as necessidades do ambiente. Caso não haja a manutenção correta, alguns problemas poderão ocorrer como: oxidação das estruturas, instabilidade do sistema por peso, ou pela ação do vento, rasgos nas mantas, morte de plantas e o surgimento de fungos.

Para o caso das fachadas verdes, o custo inicial é relativamente baixo e deve-se ao fato das plantas não necessitarem de alto custo de implantação, já que crescem por si só. O custo maior se deve à impermeabilização da parede que servirá de suporte. As plantas trepadeiras, típicas dessa técnica, crescem até uma altura de vinte metros, sendo esse fator um limitante em relação à altura desejada no projeto (KÖHLER, 2008).

De fato, cada sistema possui características distintas, vantagens e desvantagens, dependendo do potencial estético, custo e manutenção.

Verifica-se que existe, portanto, uma série de soluções para a aplicação da técnica de fachadas verdes, variando a possibilidade de inserção em relação ao benefício a ser adquirido.

#### **2.2.4. Sistema construtivo de telhados verdes**

Telhados verdes são também conhecidos como telhados vivos. A definição para a tecnologia de telhados verdes é: uma cobertura de telhados planos com vegetação, geralmente classificada em dois tipos de sistemas de telhado verde: extensivo e

intensivo.

O telhado verde extensivo é uma técnica utilizada comumente em casas construídas em climas temperados, como forma de minimizar os efeitos térmicos internos. A Figura 34 demonstra um exemplo desse tipo de técnica.

Figura 34 - Telhado Verde Extensivo, casas particulares, Amsterdam, 2016.



Fonte: Autora (2016).

Outra função atribuída aos telhados extensivos é a funcionalidade recreativa como apresentado no telhado do Museu, em Amsterdam, e no telhado localizado na praça do Papa em Vitória-ES (Figura 35 e Figura 36).

Figura 35 - Telhado Recreativo, Museu, Amsterdam.



Fonte: Autora (2016).

Figura 36 - Telhado Recreativo – Praça do Papa, Vitória



Fonte: Autora (2016).

Conforme Oberndorfer *et al.* (2007), os telhados de tipo “intensivo”, conhecidos por seus substratos profundos e pela variedade de plantações, aparecem como jardins, podendo aumentar o espaço de recreação em áreas urbanas densas. A Figura 37 representa um exemplo de telhado verde intensivo, utilizado como espaço de recreação, em Berlim.

Figura 37 - Telhado Verde Intensivo, Springer House, Berlim



Fonte: Minks (2013).

O telhado intensivo foi utilizado em edifício em São Paulo (Figura 38 e 39).



Figura 38 - Telhado Verde Intensivo, Prefeitura e Edifício Particular, São Paulo, 2010



Fonte: Minks (2013).

Figura 39 - Vista frontal prédio da Prefeitura de São Paulo



Fonte: Autora (2017).

Conforme relatam English Nature (2003) e Dunnett e Kingsbury (2008), de acordo com Nagase e Dunnett (2010), os telhados verdes são cada vez mais presentes nas

idades, visto que são importantes estratégias para a solução de alguns problemas ambientais urbanos. De fato, os telhados verdes podem reduzir a superfície de escoamento de água, fornecer um *habitat* para a vida selvagem, moderar o efeito de ilha de calor urbano, melhorar o isolamento de edifícios e eficiência energética, melhorar a qualidade do ar, criar estética e comodidade além de proporcionar oportunidades para a produção urbana de alimentos.

Os estudos sobre os benefícios dos telhados verdes demonstram várias vantagens, dentre eles os benefícios ambientais são a mitigação do calor urbano (OBERNDORFER *et al.*, 2007), a melhora da qualidade do ar (YANG; YU; GONG, 2008) e a melhoria na gestão e na qualidade das águas pluviais (STOVIN, 2010). Os benefícios econômicos são o aumento do valor da propriedade por meio do elemento estético e a economia de energia através de condutividade térmica efetiva (WONG *et al.*, 2003).

A utilização de telhados verdes é aplicada expansivamente na Alemanha há mais de 30 anos. Em 2002, mais de 12% dos telhados planos na Alemanha tiveram algum tipo de um telhado vegetado, conforme informações de Harzmann (2002, *apud* CARTER; BURTLER, 2008). Hoje, o panorama da cidade de Londres é que haverá a promoção de telhados verdes para escritórios em conjunto com o British Council. Inevitavelmente, no núcleo urbano, a maioria dos novos telhados verdes será “telhado jardins”, pois são acessíveis. (OSMUNDSON, 1999). Nos EUA, o arquiteto Raymond Hood projetou as coberturas das edificações do edifício Rockefeller Center como forma de inserir a vegetação nos telhados (Figura 40).

Figura 40 - Rockefeller Center, Nova Iorque, EUA



Fonte: Almeida (2008).

Segundo Pérez *et al.* (2011), é importante considerar o comportamento das diferentes espécies nas condições climáticas locais, para o funcionamento eficiente desses sistemas pois o resultado final pode ser diferente de uma área de clima para outro.

Portanto, pode-se afirmar que as vantagens da vegetação em áreas urbanas vão além dos benefícios físicos, integrando também os psicológicos, ao gerar melhorias para a saúde. Vale ressaltar outros potenciais benefícios em pesquisas sobre ambiência, tais como os resultados positivos da utilização de coberturas vegetadas, refletindo no estado psicoemocional dos seus usuários, proporcionando também a sensação de bem-estar por aproximá-los com a natureza.

A seguir, será apresentado o estudo de caso na cidade de Vitória-ES, em área altamente consolidada e com restrições para implantação de árvores, onde as superfícies vegetadas se apresentam como alternativa factível para a melhoria e reabilitação urbana.



### 3. MÉTODOS

No presente capítulo é apresentada a metodologia adotada para alcançar os objetivos delineados. É explicitada a forma como os dados foram extraídos e analisados. Ao final apresenta-se as conclusões acerca dos impactos gerados de cada cenário simulado nos elementos climáticos e nos índices de conforto térmico.

Para o estudo dos temas principais, foi realizado o estudo bibliográfico, com o intuito de aprofundar o desenvolvimento teórico e revisar os conceitos sobre qualidade ambiental urbana, morfologia, clima e conforto ambiental urbano. Em seguida, foram pesquisados dados mais específicos sobre os elementos climáticos e a sua interação com a geometria urbana. O comportamento da vegetação em áreas urbanas e seus principais processos de controle solar foram também incluídos nos estudos.

Em sequência, aprofundou-se o estudo sobre a influência dos elementos morfológicos no clima urbano com o intuito de compreender quais características influenciam as condições climáticas. Para tanto, foram consultados livros, artigos em periódicos, normas e *sítes* de interesse além de uma variedade de dados atuais, concentrando-se, principalmente, em trabalhos recentes publicados em revistas científicas internacionais.

Para esta pesquisa, o método de simulação microclimática utilizado se iniciou com um levantamento preliminar da área do centro de Vitória, por meio da coleta de dados dos edifícios, suas dimensões como altura e largura, implantação no lote, existência de empenas cegas, dimensões da avenida principal e das calçadas, padrão de ocupação do lote e as condições microclimáticas locais, a fim de compreender a área a ser estudada.

O entendimento do microclima urbano foi iniciado pelos estudos dos conceitos básicos sobre climatologia e que posteriormente foram aplicados para a caracterização do microclima local. Os dados foram extraídos da estação meteorológica INMET para a região da cidade de Vitória.

Para a utilização do recurso de simulação foi estudado o modelo da versão 4.0

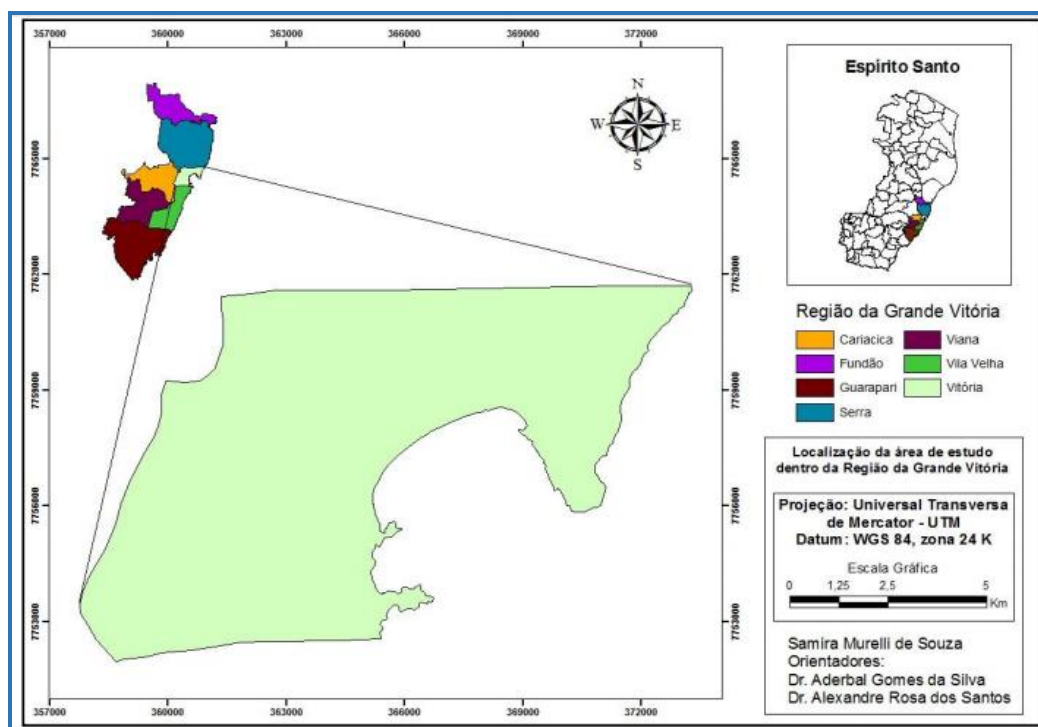
ENVIMET por meio de tutoriais, vídeos-aula e discussões no fórum criado pelo mesmo autor do programa. Posteriormente, foram elaborados os cenários com a incorporação do telhado e fachadas vegetadas em diferentes propostas para verificação dos efeitos de cada um para os elementos climáticos.

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA URBANA

O município de Vitória, situado no estado do Espírito Santo (20°19'09' de latitude sul e 40°20'50' de longitude oeste), conta com uma população total de 359.555 habitantes, conforme censo do IBGE (2016), cuja densidade demográfica é de 3.338,30 hab/Km<sup>2</sup>, em uma extensão de 96,53 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016).

Vitória é o centro de uma área geográfica de grande nível de urbanização, denominada Região Metropolitana da Grande Vitória, compreendida por mais seis municípios - Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana e Vila Velha (Figura 41).

Figura 41 - Localização da cidade de Vitória, ES

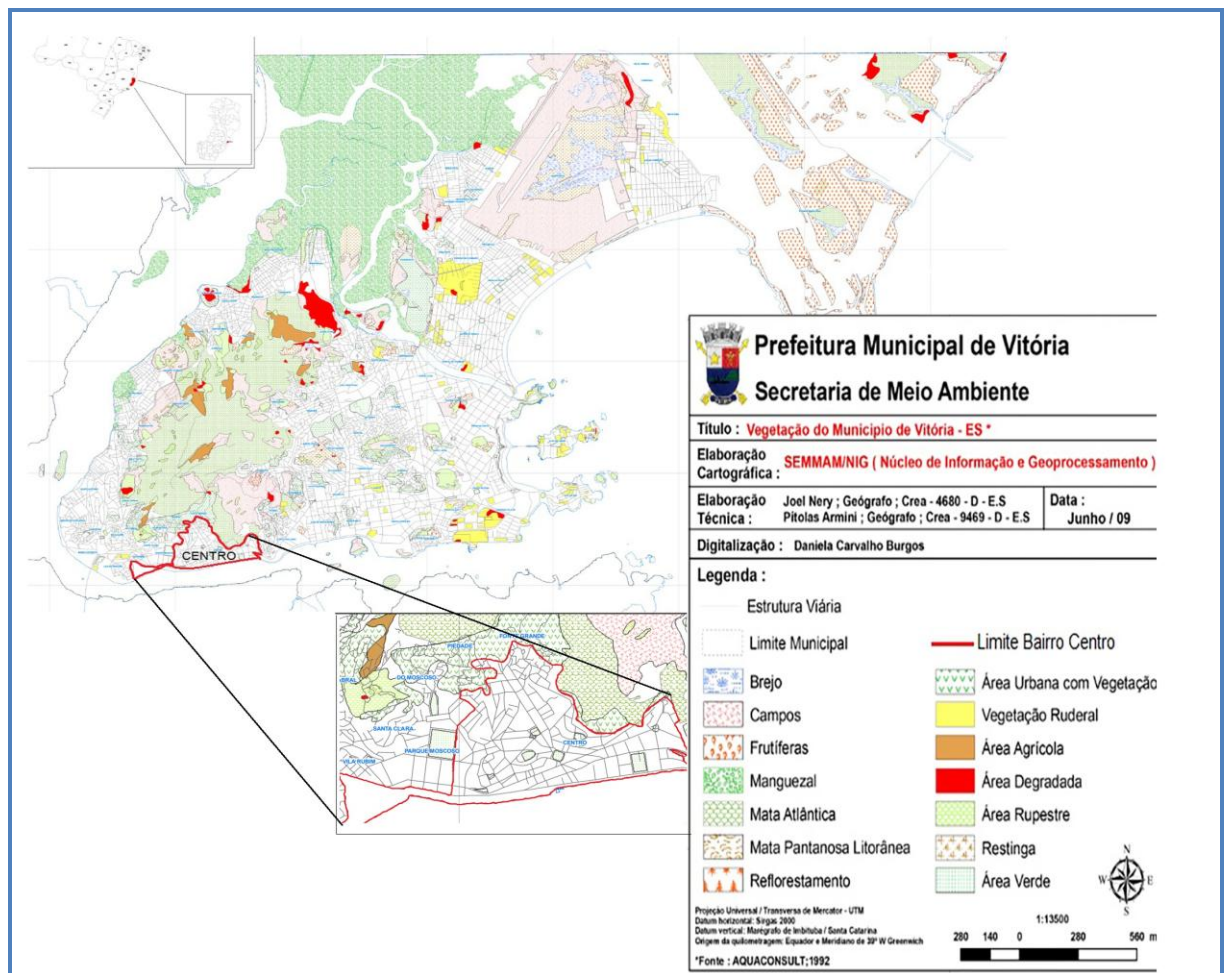


Fonte: Souza e Silva (2007).

O município de Vitória possui grandes áreas de ambientes naturais, embora parte da vegetação nativa tenha sido perdida decorrente do crescimento da malha urbana. A

distribuição das áreas verdes, na cidade capixaba, é considerada distinta na malha urbana, pois há porções insulares de variadas proporções e também continental como mangues, parques, praças e áreas reflorestadas, gerando grandes interrupções (PENTEADO; ALVAREZ, 2007). A Figura 42 apresenta as áreas com vegetação do município de Vitória, representadas pelos diversos tipos como manguezais, áreas urbanas com vegetação, campos e áreas com reflorestamentos.

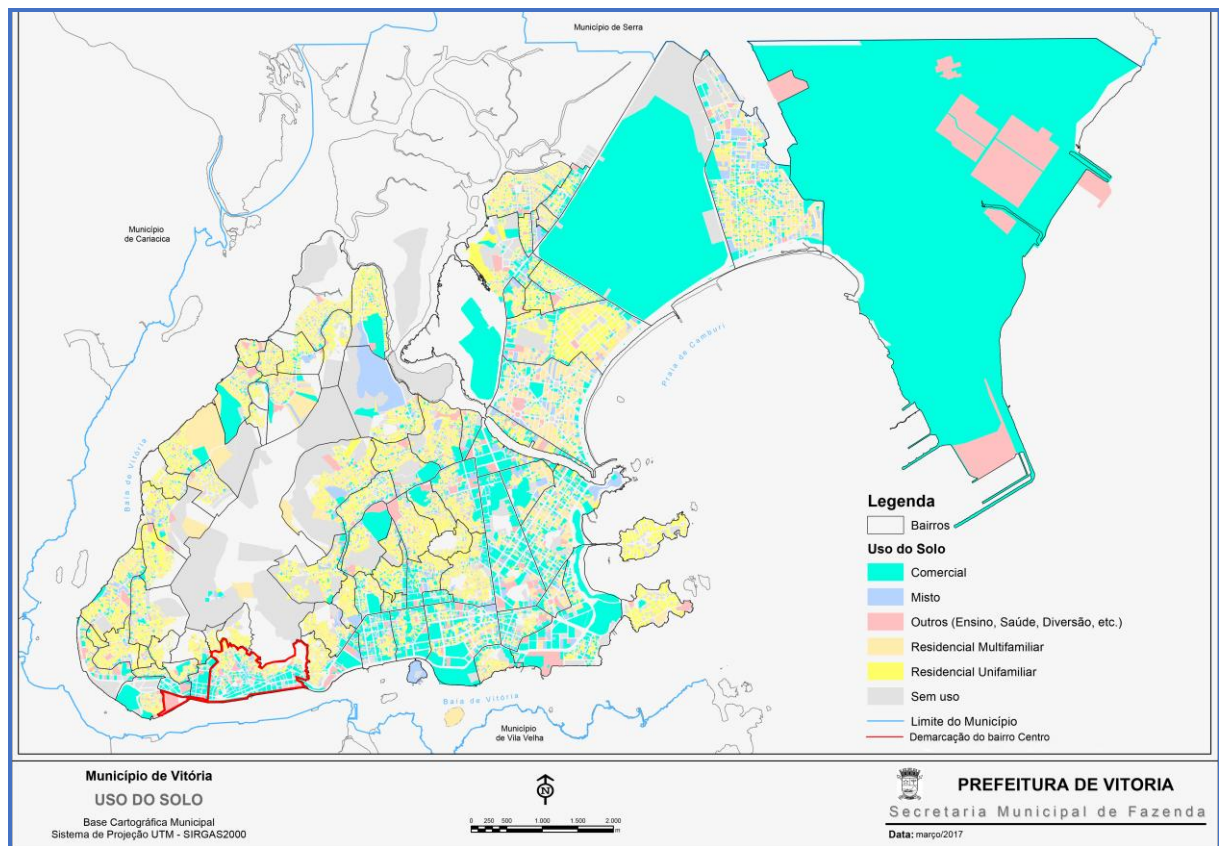
Figura 42- Áreas com vegetação no município de Vitória- ES.



Fonte: Adaptado de PMV (2017).

O uso do solo no município de Vitória é organizado por tipos comercial, misto, residencial e sem uso (Figura 43).

Figura 43 - Mapa de uso do solo urbano de Vitória no ano de 2017. Em vermelho o bairro Centro.



Fonte: PMV (2017).

O centro de Vitória, localizado na região Sul da Ilha de Vitória, é caracterizado pela presença do Porto, do centro histórico da cidade, de diversos edifícios institucionais e públicos. Além disso, concentra atividades econômicas e sociais, com grande fluxo de pessoas, automóveis e serviços, gerando poluição do ar, poluição visual, escassez de áreas livres e verdes, falta de estacionamentos em certos lugares, excesso de carros estacionados nas ruas, entre outros problemas urbanos

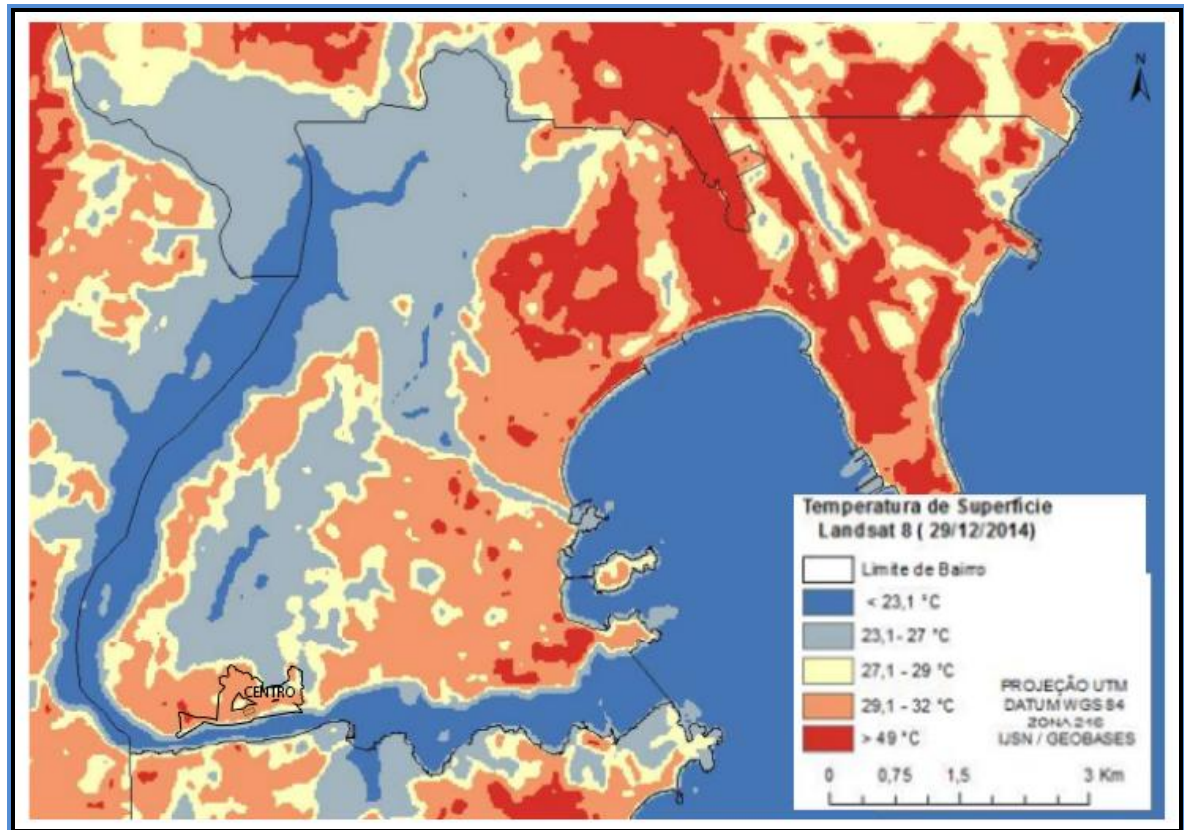
Segundo o Governo do Espírito Santo (2011), o estado possui clima tropical úmido, com temperaturas médias anuais de 23°C e volume de precipitação superior a 1.400 mm por ano, especialmente concentrados no verão.

O estudo de Silva, Xavier e Alvarez (2015) forneceu as temperaturas das superfícies por meio de produção de mapas termais da cidade de Vitória. Os resultados mostraram variações de temperatura de 18 °C a 49 °C, e para o Centro de Vitória



29,1 °C à acima de 49 °C (Figura 44).

Figura 44 - Mapa de Temperatura do Município de Vitória no ano de 2016



Fonte: Silva *et al* (2016).

Na estação do verão, caracterizado pelas altas temperaturas, elevado índice pluviométrico e dias mais longos que as noites, as temperaturas máximas médias ficam em torno dos 28,0°C, na Região Serrana, e 32,0°C, nas demais regiões. As temperaturas mínimas médias ficam em torno dos 18,0°C, na região serrana, e 22,0°C, nas demais regiões. (INCAPER, 2017).

Segundo Rodrigues e Alvarez (2011), a cidade de Vitória é favorecida por ventos predominantes para o sentido nordeste (NE) em grande parte do ano, com umidades relativas superiores a 50%.

### 3.1.1. Delimitação da área de estudo

O objeto desta pesquisa envolve uma avenida de uso predominantemente comercial: um trecho da Avenida Jerônimo Monteiro. A Figura 45 utiliza imagens,

adaptadas do site *Google Earth*, onde é situada em vermelho a Avenida Jerônimo Monteiro. A escolha desta área no Centro de Vitória justifica-se por meio de critérios, tais como: a) ser uma área já consolidada em seu uso-ocupação; b) inexistência de massas vegetadas nas calçadas, configurando um ambiente com desconforto térmico e sendo possível observar as possíveis alterações climáticas nas hipóteses de simulação de superfícies vegetadas; c) largura pequena de calçadas, que dificultassem a implantação de canteiros arborizados e que reforçassem as superfícies vegetadas como uma alternativa para melhoria do conforto térmico local; d) existência de edificações aptas a receber superfícies verdes.

Figura 45 - Área de estudo no Centro de Vitória



Fonte: Autora (2017).

Lima (2011, p.100) designou a Avenida como:

“... principal artéria do Centro de Vitória, a Avenida Jerônimo Monteiro possui um traçado que tem origem na época da fundação da cidade, mas que passou por algumas reformulações ao longo do tempo por intenção de melhorias e adaptações às diferentes épocas. Sua importância no contexto da cidade se deve principalmente ao fato de funcionar como ligação leste/oeste do município, o que fez com que absorvesse um considerável fluxo de veículos, carros de passeio, ônibus e movimentação de pessoas. Com isso, como mostra sua história, tornou-se local de encontros e ponto de referência, fazendo parte do imaginário dos habitantes de Vitória.”

Durante as décadas de 30 e 40, ocorreram transformações na Avenida, como a extinção da linha de bonde, e o início do uso do automóvel. A Figura 46, apresenta a época citada, onde é possível identificar os principais edifícios.

Figura 46 - Av. Jerônimo Monteiro em 1940 com os bondes participando da paisagem urbana. À esquerda, o Cine-teatro Glória, e à direita, o edifício do Banco Hipotecário e Agrícola.



Fonte: Disponível em: <<http://legado.vitoria.es.gov.br/baiadevitoria/.jpg>>. Acesso em: 20/06/2017.

A Figura 47 apresenta o mapa de tipologia dos edifícios da Avenida Jerônimo Monteiro, as edificações ao redor da Avenida principal, as ruas laterais que cortam a avenida e as duas principais praças que compõe a região: Praça Costa Pereira e Praça 8 de Setembro. Observa-se a alta densidade do uso do solo na região, não existindo recuos laterais nas edificações.

Figura 47 – Isométrico de tipologia da área selecionada

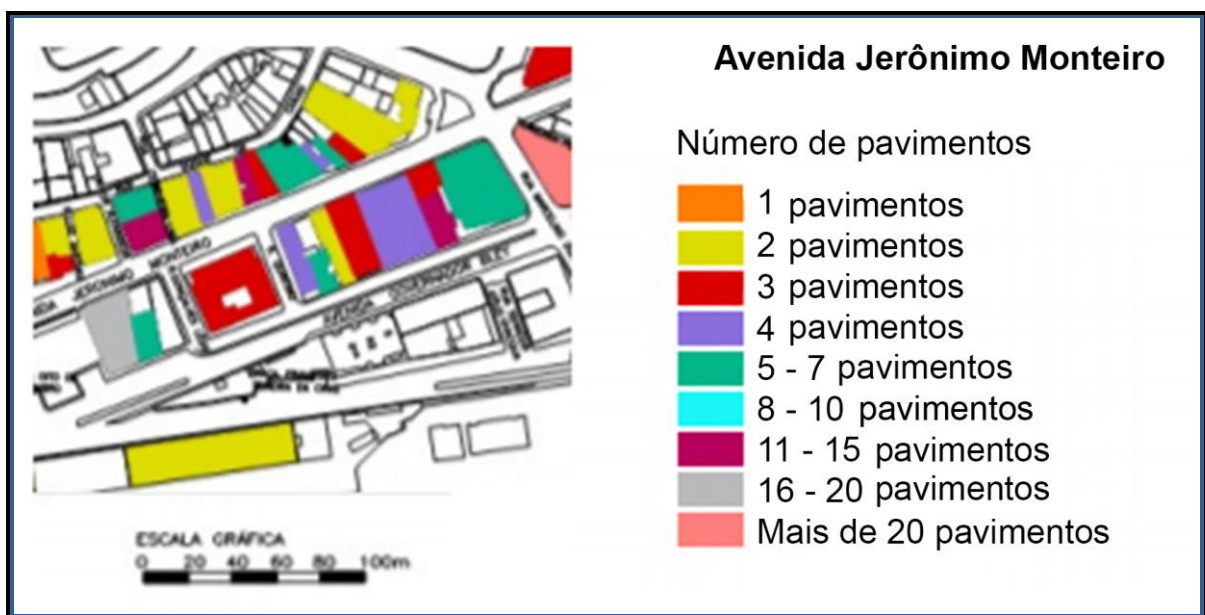


Fonte: Adaptado de PMV (2007).



O mapa de gabarito da área selecionada é demonstrado na Figura 48, apresentando o número de pavimentos das edificações. Observa-se que no lado esquerdo da Avenida as construções são formadas por três a quatro pavimentos, destacando-se o maior edifício do trecho com altura de 16 pavimentos. No início do lado direito da Avenida, as edificações possuem altura com até três pavimentos, no meio de 07 pavimentos e ao final do trecho selecionado uma diversificação de dois a 12 pavimentos.

Figura 48 - Gabarito da área selecionada.



Fonte: Adaptado de Lima (2011)

O levantamento físico realizado pelo estudo de Bonatto e Rangel (2015) contribuiu para observar a diversidade de espaços livres, em sua morfologia, arborização e ambientação. A Figura 49 apresenta um trecho da Avenida Jerônimo Monteiro, demonstrando a morfologia da área, com predominância de edifícios mais baixos do lado esquerdo, considerando o sentido do tráfego de veículos, e uma heterogeneidade de gabarito à direita. A figura demonstra também o grande fluxo de veículos, a falta de arborização nas calçadas ao longo de toda a via e a insolação solar durante o período da tarde.



Figura 49 - Trecho da Avenida Jerônimo Monteiro



Fonte: Autora (2017).

A Figura 50 mostra a consolidação da Avenida, com edifícios sem recuo lateral, comércio nos andares térreos dos edifícios e a inexistência de arborização na calçada. Pode-se observar também que o comércio abrange também parte da calçada, estreitando ainda mais o local de passagem de transeuntes.

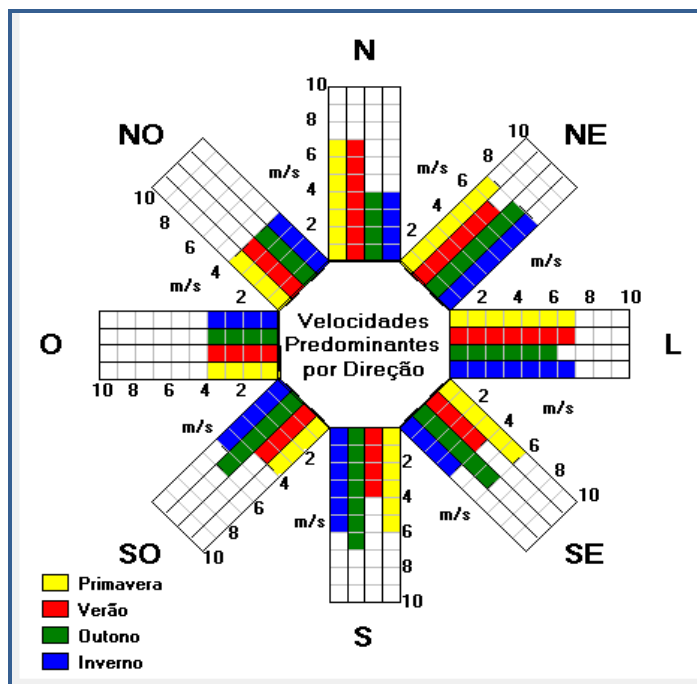
Figura 50 - Trecho da Avenida Jerônimo Monteiro



Fonte: Autora (2017).

A Figura 51 apresenta os ventos incidentes na região da cidade de Vitória, determinando os valores de velocidade para cada sentido do vento em relação à estação do ano.

Figura 51: Rosa dos ventos para a cidade de Vitória



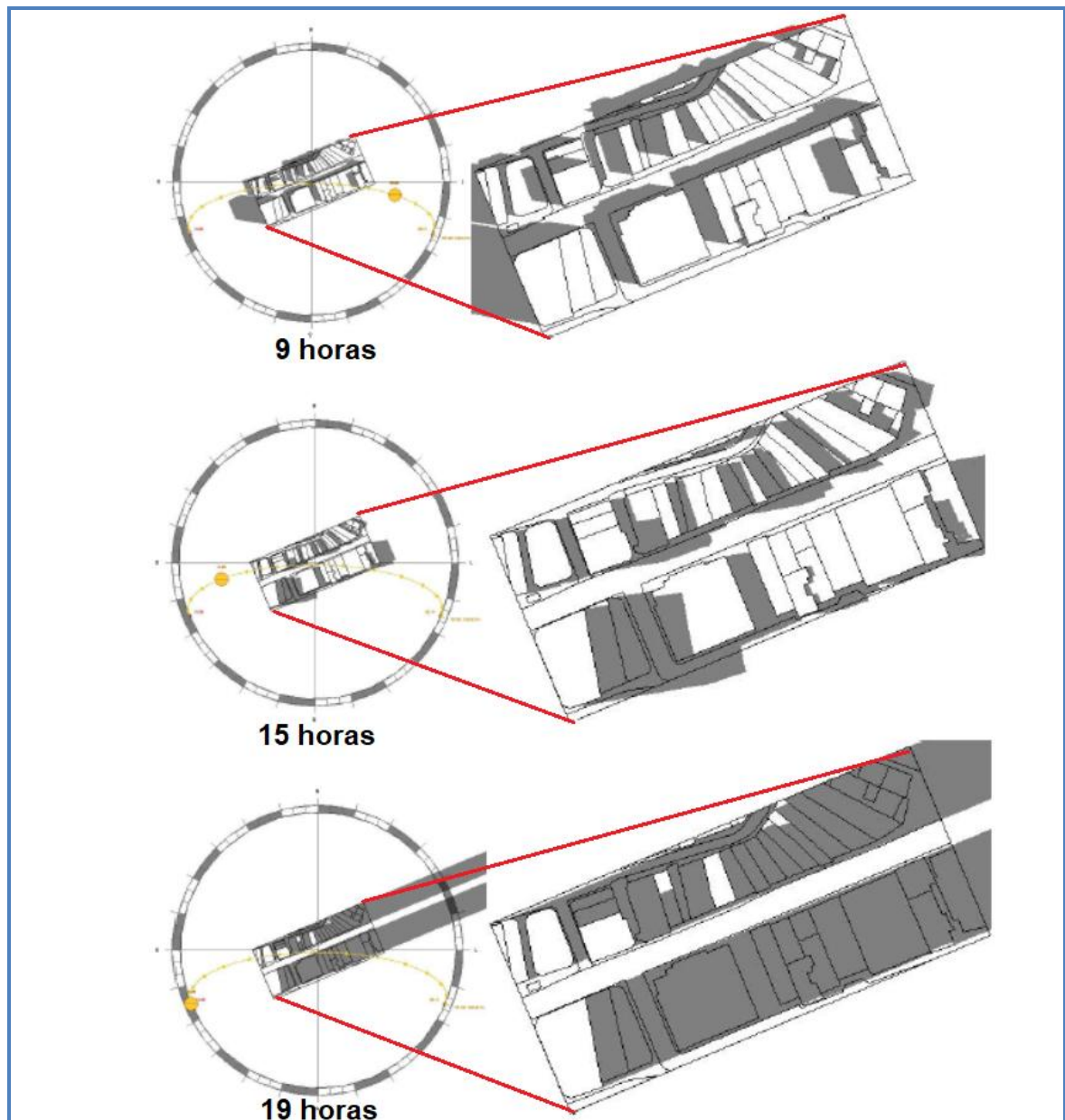
Fonte: Software Anlysis SOLAR. Acesso em: 10 fev.2017

O diagrama de insolação da área recortada apresenta a localização do Sol na data 15 de janeiro de 2016, evidenciando o traçado das sombras dos edifícios nas ruas e nas outras edificações (Figura 52). Conforme mostra a maquete volumétrica produzida, o início da Avenida Jerônimo Monteiro no lado leste recebe insolação, durante o período da manhã e da tarde. A calçada do lado direito da avenida no período da manhã possui incidência solar, pois a largura da via impede o sombreamento da rua devido às edificações. A largura da Avenida principal é 11 metros e a largura entre os edifícios, localizados na parte central do trecho e na direção oeste, é 15 metros. Já na parte leste da Avenida Jerônimo Monteiro é maior largura entre os edifícios, devido ao posicionamento dos edifícios, situados do lado direito. O valor aumenta para 22 metros. Essas diferentes determinam a exposição dos grupos de edifícios à radiação do Sol.

Durante o solstício de verão, as sombras na avenida principal e nas ruas laterais,

praticamente possuem o mesmo sombreamento do dia analisado. Isso ocorre porque o dia analisado foi um dia típico de verão, ou seja, a posição solar de janeiro é próxima do dia 21 de dezembro, dia em que ocorre o solstício de verão. Durante o solstício de inverno, a posição solar proporcionou maiores sombras na avenida principal. Na análise do equinócio de outono, foi possível perceber que a posição solar não produz sombras na avenida, já para o equinócio de primavera, é possível ver mais sombras nas ruas e na avenida comparado com a data escolhida para a simulação.

Figura 52 - Diagrama de insolação para o dia 15 de janeiro de 2016.



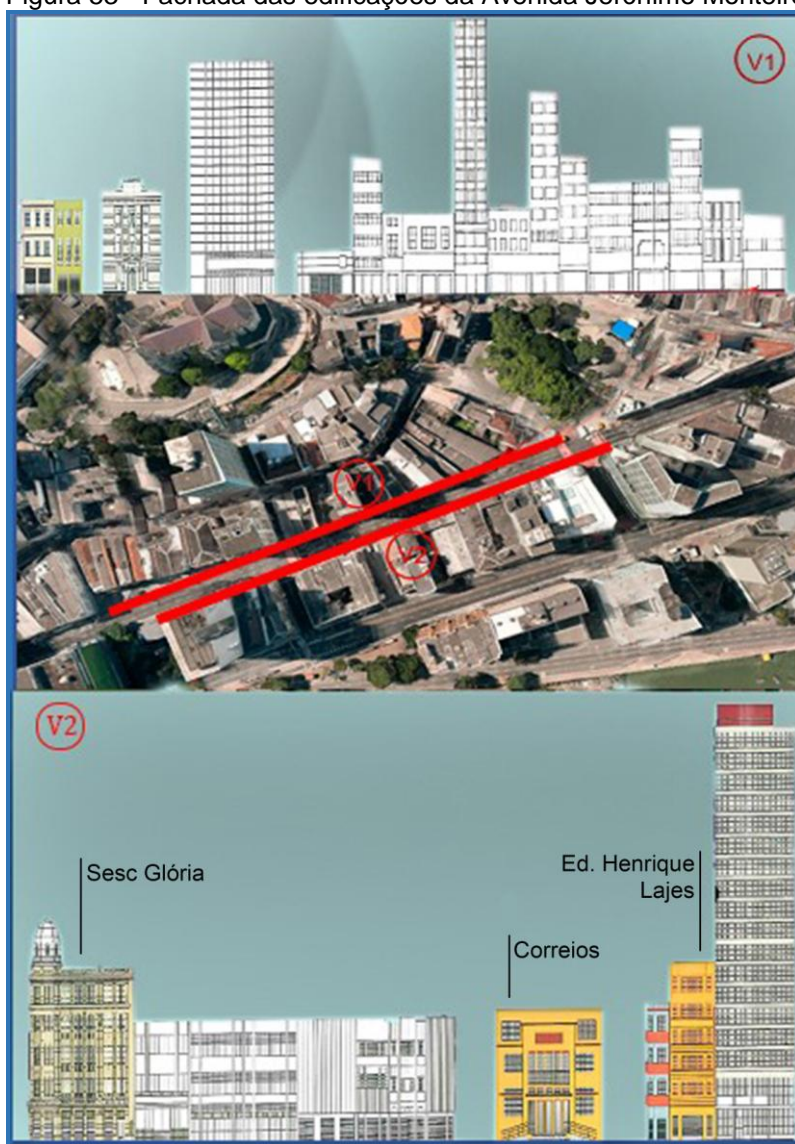
Fonte: Autora (2017)

Posteriormente a essa análise, foi possível selecionar as edificações que poderiam receber a vegetação. No subitem a seguir serão apresentados a forma e os critérios utilizados para a seleção.

### 3.1.2. Seleção de superfícies a serem vegetadas

Por meio de levantamento *in loco*, foi possível caracterizar as edificações, as suas características geométricas, como altura e largura, tipologia das fachadas, empenas cegas e telhados. A Figura 53 apresenta em mapa as duas fachadas da Avenida principal, sendo V1, os edifícios implantados do lado direito e V2, os do lado esquerdo.

Figura 53 - Fachada das edificações da Avenida Jerônimo Monteiro



Fonte: Adaptado de PMV (2007).



O mapeamento da área urbana investigada permitiu conhecer os edifícios que caracterizam a região, como também identificar aqueles principais de interesse em preservação tais como: o Centro Cultural Sesc Glória, o edifício dos Correios e o edifício do Banco Real. A forma urbana construída se caracteriza por algumas obras, consideradas históricas, que não formam um conjunto contínuo, sendo suas localizações intercaladas com edificações de épocas mais recentes. Ainda, boa parte das edificações são encobertas por painéis de propaganda, configurando uma poluição visual.

Figura 54 - Fachada das edificações da Avenida Jerônimo Monteiro - V1



Fonte: Autora (2017).

Quanto ao uso das edificações, a maioria é de uso comercial. Existem duas vias laterais que interceptam a via principal. Na Figura 54 acima percebe-se a utilização para fins comerciais em praticamente todas as áreas, formando um aglomerado de lojas na avenida.

A Figura 55 abaixo apresentam as fachadas das edificações da avenida analisada. Observa-se um intenso uso para fins de comércio nos dois lados da Avenida Jerônimo Monteiro.

Figura 55 - Fachada das edificações da Avenida Jerônimo Monteiro - V2



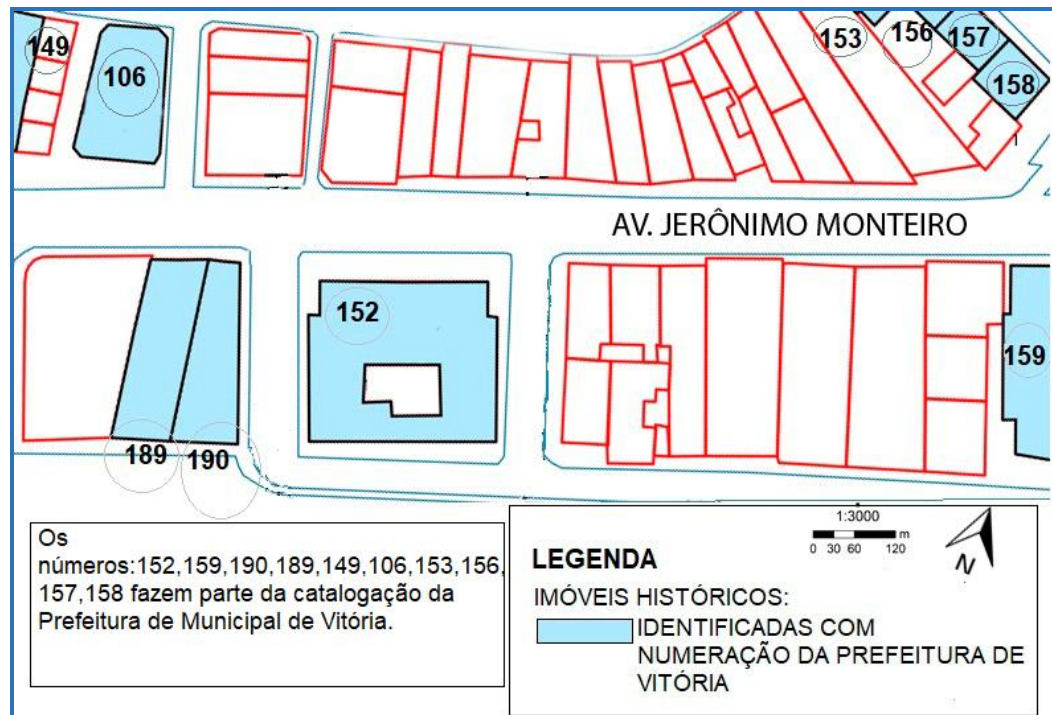
Fonte: Autora (2017).

Neste conjunto, algumas dessas edificações são objeto de interesse de preservação histórica, representadas por construções ecléticas, *art-deco* e modernas. Com isso, foi necessário realizar uma pesquisa prévia para verificar quais edificações estariam no interesse de tombamento, ficando, assim, excluídas para a inserção da vegetação.

As edificações com interesse em tombamento foram catalogadas e identificadas por numerações pela Prefeitura Municipal de Vitória. A Figura 56 apresenta em cor azul

os imóveis históricos. Os números 159,152,153,156,157,158,106,149,189 e 190 fazem parte dessa identificação de imóveis com valor histórico.

Figura 56 - Edificações com interesse em preservação



Fonte: Adaptado de PMV (2017).

Os edifícios foram numerados de forma a inserir as dimensões dos comprimentos, alturas, as áreas individuais e totais de telhados, fachadas e empenas cegas. A Figura 57, apresenta a numeração dada para os 41 edifícios do trecho delimitado.

Figura 57 - Numeração das edificações



Fonte: Autora (2016).

A tabela 4 discrimina a numeração das edificações, assim como as alturas, o comprimento das fachadas, a altura das empenas cegas do lado direito e esquerdo de cada edifício, as áreas de fachada, telhado das edificações, assim como dados adicionais coletados.

Tabela 4: Tabela das dimensões das edificações

TABELA DAS DIMENSÕES DOS EDIFÍCIOS											
NUMERAÇÃO	INTERESSE EM TOMBAMENTO	ALTURA	LARGURA DA FACHADA	ALTURA EMPENA CEGA lado direito	ALTURA EMPENA CEGA lado esquerdo	LARGURA EMPENA CEGA	ÁREA FACHADA	ÁREA EMPENA CEGA	ÁREA TOTAL DE PAREDE	ÁREA TELhado	ÁREA TOTAL INDIVIDUAL
1	SIM	29,0	7,6				220,1		220,1	1154,0	1374,1
2		21,0	14,5				151,7		151,7	204,0	355,7
3		41,0	17,1				351,2		351,2	309,0	660,2
4		21,0	27,4				575,8		575,8	1065,0	1640,8
5		21,0	14,8				310,8		310,8	489,0	799,8
6		21,0	9,2				192,2		192,2	338,0	530,2
7		21,0	9,0				94,3		94,3	170,0	264,3
8		24,0	11,5				275,8		275,8	188,0	463,8
9		21,0	27,0				567,3		567,3	323,0	890,3
10	SIM	22,0	38,2				840,4		840,4	1369,0	2209,4
11	SIM	23,0	6,6				151,1		151,1	341,0	492,1
12	SIM	29,0	11,2				324,5		324,5	461,0	785,5
13		68,0	22,5	11,3			1528,6	253,8	1782,4	833,0	2615,4
14	SIM	13,0	10,4				135,2		135,2	116,0	251,2
15	SIM	13,0	10,4				135,2		135,2	93,0	228,2
16		6,0	11,2				67,1		67,1	81,0	148,1
17		12,0	13,5	6,0		42,8	81,0	256,7	337,7	444,0	781,7
18		12,0	12,5				75,0		75,0	346,0	421,0
19		16,0	9,8	4,0		38,5	156,8	154,0	310,8	271,0	581,8
20		25,0	6,1	9,0	8,0	34,3	76,3	582,6	658,8	173,0	831,8
21		17,0	6,8				86,7		86,7	153,0	239,7
22		17,0	8,3				105,4		105,4	140,0	245,4
23		22,0	8,4	5,0		23,5	184,6	117,4	301,9	165,0	466,9
24		31,0	6,7	11,0		23,2	207,7	255,5	463,2	153,0	616,2
25		13,0	9,5				123,5		123,5	170,0	293,5
26		43,0	9,5	30,0	31,0	22,7	407,2	1384,1	1791,3	183,0	1974,3
27		12,0	12,3				148,1		148,1	263,0	411,1
28		12,0	3,4				41,2		41,2	108,0	149,2
29		21,0	6,6	9,0	14,0	24,3	138,4	559,4	697,8	162,0	859,8
30		7,0	31,1				217,9		217,9	373,0	590,9
31		37,0	29,5				1089,8		1089,8	341,0	1430,8
32	SIM	17,0	18,3				310,6		310,6	437,0	747,6
33		16,0	19,3				309,4		309,4	198,0	507,4
34	SIM	16,0	4,0				63,7		63,7	56,0	119,7
35		16,0	25,2				402,6		402,6	139,0	541,6
36		16,0	25,2				402,6		402,6	97,0	499,6
37		16,0	11,2				179,7		179,7	14,0	193,7
38		16,0	6,0				96,0		96,0	13,0	109,0
39		18,0	7,3				131,4		131,4	22,0	153,4
40		21,0	18,1				379,3		379,3	52,0	431,3
41		24,0	12,2				292,6		292,6	32,0	324,6
ÁREA TOTAL (m²)							11628,5	3563,4	15191,8	12039,0	27230,8
ÁREA TOTAL DE SUPERFÍCIES VEGETADAS (m²)							8488,8	3563,4	12052,1	8012,0	20064,1
ÁREA TOTAL DOS TELHADOS VERDES (m²)											8012,0
ÁREA TOTAL DAS PAREDES VERDES (m²)											12052,1
PORCENTAGEM DE TELHADOS VERDES (%)											29%
PORCENTAGEM DE PAREDES VERDES (%)											44%

Fonte: Autora (2016).

A tipologia dos telhados foi definida por meio de utilização do *software Google Earth*. Os tipos de telhados encontrados foram: telhas de fibro-cimento e telha cerâmica. A Figura 58 serviu como base para avaliação e classificação das tipologias dos telhados.



A maior parte dos telhados da área selecionada foi de fibro-cimento. Esse fato pode ser justificado pela época em que foram construídas as edificações presentes.

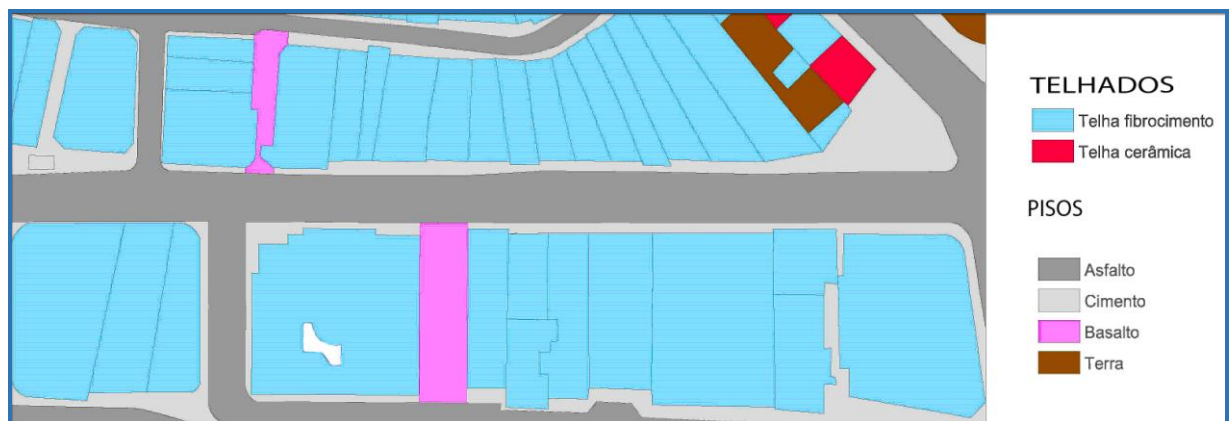
Figura 58: Vista da cobertura dos edifícios



Fonte: Google Maps (2016).

A Figura 59 apresenta os dois tipos de materiais reconhecidos na fase de levantamento de dados.

Figura 59: Tipologias dos revestimentos horizontais

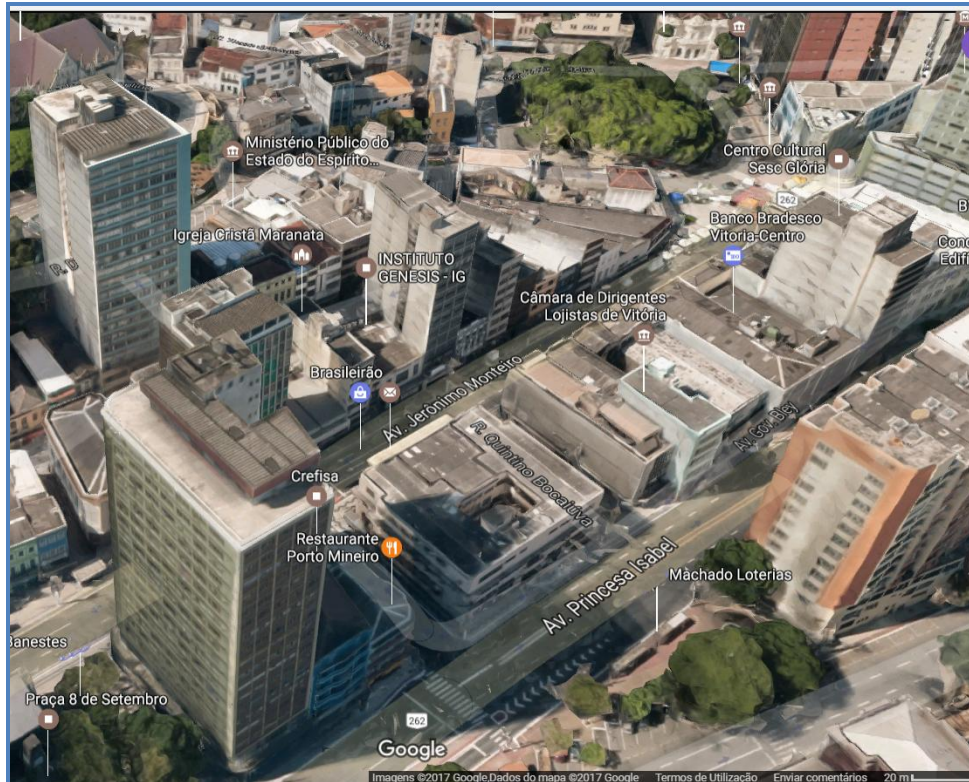


Fonte: Autora (2016).

As empenas cegas foram analisadas por meio de levantamento *in loco* e por meio de visualização em 3 D do Google Earth. As alturas foram estimadas por meio de definição de pé-direito padrão e multiplicadas por número de andares, contados na fase de visita em campo (Figura 60).

O edifício que possui maior área disponível nas empenas cegas foi o de numeração 20, pois o mesmo possui áreas livres em seu lado esquerdo e direito, além de ser o segundo mais alto da região com 43 metros de altura.

Figura 60 - Vista de cima para visualização das fachadas do lado direito



Fonte: Google Maps (2016).

A Figura 61 apresenta as empenas cegas disponíveis do lado esquerdo da avenida estudada. Verifica-se que existe uma quantidade de empenas cegas relativamente grande, dado que os edifícios não possuem recuos laterais. Ou seja, as áreas disponíveis nas laterais são aquelas em que os edifícios possuem diferença de altura.



Figura 61 - Vista de cima para visualização das fachadas do lado esquerdo



Fonte: Google Earth (2017).

A partir deste levantamento foi possível obter os dados sobre as áreas das superfícies, assim como a área de telhados, empenas e fachadas. A área total de superfícies disponíveis foi de 27.230,8 m<sup>2</sup>. As áreas verdes totais foram de aproximadamente 20.064,10 m<sup>2</sup>. A área total de paredes verdes foi de 12.052,10 m<sup>2</sup>, dos quais 3.563,4 m<sup>2</sup> de empena cega. A área total de telhados verdes foi de aproximadamente 8.012,0 m<sup>2</sup>. A percentagem de paredes verdes sobre a área total das superfícies foi de 44%, enquanto que a área por telhados verdes foi de 29% da área total. Ou seja, a percentagem da área equivalente às superfícies em interesse em preservação foi de 26%.

Diante dos dados coletados, foi possível iniciar a parte de simulação microclimática. O próximo item apresenta as etapas que foram percorridas até a fase de escolha de dados de saída.

### 3.2. SIMULAÇÕES

A pesquisa simulou uma área de cânion urbano. Para tanto, utilizou o programa de *software* livre denominado ENVI-met, desenvolvido na Alemanha, por Bruse e Fleer em 1998 e aperfeiçoado por Bruse em 2004. Tal *software*, configura-se como um modelo tridimensional de clima urbano, que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente. A ferramenta oferece várias possibilidades de aplicação em diversos cenários urbanos com possibilidade de inclusão de massa vegetada, de corpos d'água e diferentes tipos de solos, edificações e densidade construída, por exemplo. A modelagem é fundamentada nas leis da dinâmica de fluidos e da termodinâmica. O modelo de cálculo analisa os parâmetros da mecânica dos fluidos, o escoamento e a ocorrência de turbulências, com os processos termodinâmicos.

Neste trabalho, utilizou-se o modelo ENVI-met versão 4.0. Concebido para simular a interação superfície-planta-atmosfera no ambiente urbano, com uma faixa de trabalho de resolução gráfica mínima de 0,5m e máxima de 10m, para as áreas a serem simuladas.

Para Pezzuto *et al.* (2011), o programa pode ser utilizado como uma ferramenta no processo de planejamento urbano, sendo útil na comparação de diferentes cenários, com variações na morfologia urbana, na tipologia construtiva, na densidade das edificações, na permeabilidade do solo e no índice de vegetação.

Na cidade de Cairo, Egyto, foi realizado um estudo para validação do modelo do ENVI-met para dois tipos de configurações. Os resultados demonstraram que o modelo está de acordo com os dados medidos, representados pelo PMV (ELNABAWI; NEVEEN; STEVEN, 2013).

Maciel (2011) realizou a validação do modelo comparando dados reais, registrados na área de estudo, com os dados gerados pelo modelo ENVI-met, para cada um dos períodos estudados (quente-seco e quente-úmido), observando a existência de correlação positiva entre as variáveis observadas e estimadas.

A larga aplicação do ENVI-Met tem despertado interesse na área acadêmica,

destacando-se os trabalhos como o trabalho de Kolokotsa *et al.* (2013) que avaliaram o efeito de diferentes tipos de vegetação por meio da simulação. Como resultado, os autores demonstraram que os telhados verdes podem contribuir para a melhoria do conforto dos espaços.

Peng e Jim (2013) pesquisaram a influência da inserção de telhados vegetados em quatro residências convencionais e uma edificação comercial na cidade de Hong Kong. Utilizando o software ENVI-met, foram estudados dois cenários com telhados verdes extensivos e intensivos. Os resultados apontaram uma diminuição na temperatura do ar de 0.4–0.7 °C, para o telhado extensivo e 0.5–1.7 °C para o telhado intensivo.

Ali-Toutert e Mayer (2007) utilizaram o ENVI-met para a simulação do microclima em relação ao conforto térmico humano em áreas urbanas, com distintas razões entre a altura e distâncias entre as edificações, com a presença ou não de arborização além de várias orientações geográficas. Os resultados mostraram que as variações nos cânions apresentaram um impacto moderado na temperatura do ar, porém, influenciaram na sensação térmica, devido às alterações na radiação.

Katzschner *et al.* (2007) utilizaram esse modelo para simulação do espaço urbano. Aplicando a mesma ferramenta, Lahme e Bruse (2003) realizaram observações locais do clima e da qualidade do ar. Os dois trabalhos concluíram que o ENVI-met reproduz os dados observados com suficiente confiança, além de ser adequado a investigações que trabalham em escalas de alta precisão, com resoluções da grade da célula entre 0,5 e 10 m, e com precisão de tempo de 10 segundos (HEDQUIST *et al.*, 2009).

O estudo realizado por Rosseti (2013) demonstrou os efeitos gerados pela inserção de telhados verdes na cidade de Cuiabá-MT, nas simulações com configurações de 10 a 100% dos telhados, havendo redução de temperatura de 1.56 °C e de aumento de umidade do ar de até 4,8 %, porém não no nível do pedestre.

Para construir o modelo, o *software* requer conhecimento para inserção dos dados como detalhes do solo, dos edifícios, da vegetação e das condições atmosféricas

iniciais. Os elementos atmosféricos necessários para a execução das simulações, incluem a velocidade e direção do vento, a altura da camada limite das edificações, a temperatura inicial da atmosfera, a umidade específica e a umidade relativa.

O processo de modelagem demanda de três etapas principais:

- 1-simulação das características morfológicas reais da área de estudo;
- 2-criação de arquivo de configuração de entrada do modelo com descrição de cada parâmetro e;
- 3-escolha dos dados de saída.

O levantamento físico-espacial foi realizado com a utilização de imagens de satélite do *Google Earth*, plantas em CAD e realização de visitas na área selecionada.

O levantamento foi iniciado a partir de visualização de imagens obtidas pelo *software Google Earth*. Adicionalmente, foram identificados detalhes como, por exemplo, o número de pavimentos de cada edificação, a tipologia das fachadas, demarcados em visitas *in loco*. Dessa forma, toda a malha urbana da fração estudada, edificações e vegetação, puderam ser representadas.

Em sequência, dados de temperatura radiante média foram calculados pelo ENVI-met, a partir da temperatura e umidade do ar, das propriedades superficiais e da geometria do entorno. Os dados de saída do programa são apresentados na forma de mapas ou gráficos, facilitando a análise da interação entre os parâmetros físicos do ambiente construído e o microclima.

### **3.2.1. Configurações dos arquivos para simulação**

Para que o *software* simule as condições microclimáticas da área a ser estudada, necessita-se da elaboração e inserção de arquivos de entrada, disponibilizados pelo ENVI-met: o arquivo de área (*Área Input File Editor*), o arquivo de dados de configuração (*Configuration File Editor*) e o arquivo de criação do modelo (*Main model área*).

O aplicativo interno do próprio programa “*Área Input File Editor*” possibilita adequar a geometria do modelo a ser analisada com a especificação de detalhes do ambiente como, por exemplo, projeção em planta e altura dos edifícios, bem como a localização das vias existentes, dos espaçamentos entre as edificações; tipos de solos e de pavimentos (asfalto, concreto etc.) e sua distribuição pela área, orientação da área com relação ao norte e posição e tipos de vegetação.

A função do aplicativo “*Configuration File Editor*” é de inserir os dados básicos de entrada para a simulação como: dia e horário de início da simulação, quantidade total de horas simuladas, intervalo de tempo que o software deve salvar os dados, velocidade do vento a 10 metros de altura (m/s), direção do vento, rugosidade da superfície, temperatura inicial da atmosfera (K), umidade específica a 2500m de altura (g de H<sub>2</sub>O/Kg ar) e umidade relativa a 2m de altura (%).

O arquivo de criação da área do modelo “*Main model área*”, para a versão *free* do software ENVI-met (v. 4) possibilita a composição de uma malha horizontal de até 100 partes no eixo “x”, 100 partes no eixo “y” e 40 partes no eixo “z”. Essas partes são denominadas de “*grids*” pelo *software*.

Neste estudo, foi utilizado um arquivo de AutoCAD© da área (dwg), que posteriormente foi convertido e ajustado para extensão *bitmap*. O desenho da área foi rotacionado em -23 graus para que as edificações inclinadas em planta se adequassem melhor na grade, alinhando-se a direção de suas linhas. Este procedimento foi necessário, pois as primeiras simulações feitas com o norte original apresentaram grandes distorções da geometria original que é inclinada.

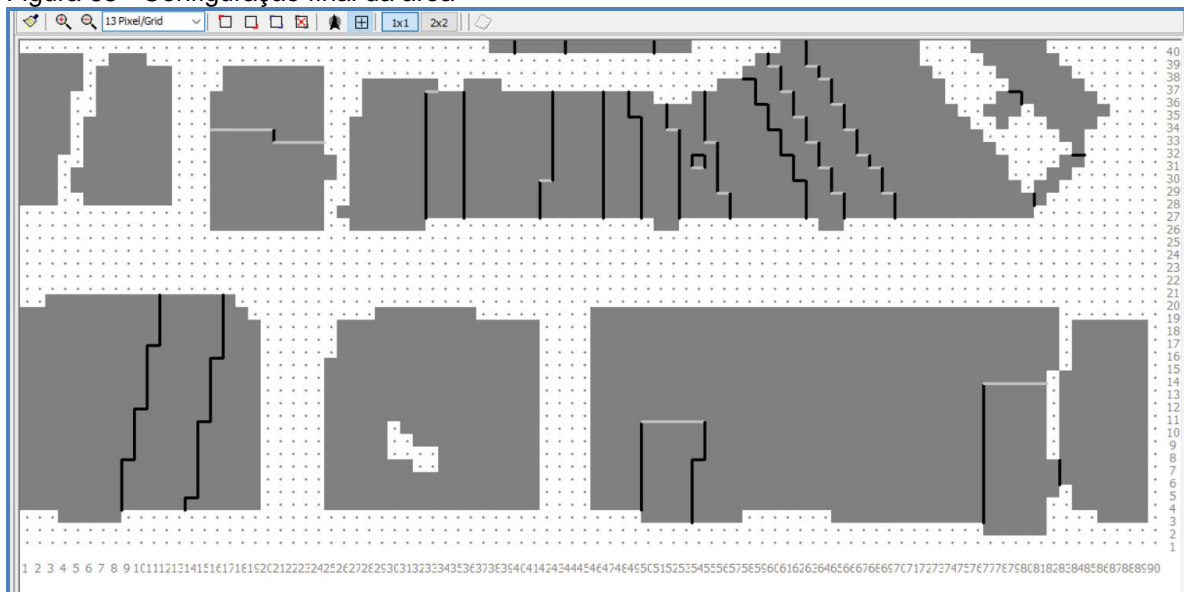
Para a definição do tamanho dos *grids*, foi considerada a área total do recorte urbano de 197 x 91 m. Neste estudo, após serem realizados os testes, com seleção de grades de 1 x 1 e 3 x 3 metros, conforme apresentado na Figura 62 para uma área quadrada de 90 x 90 metros, observou-se que com a utilização da grade de 3,8 x 3,8 poderia ser inserido todo o trecho a ser estudado, e com poucas deformações do original, para a área de 90 x 40 grids (Figura 63).

Figura 62 - Testes com áreas menores



Fonte: Autora (2017).

Figura 63 - Configuração final da área



Fonte: Autora (2017).

As edificações da área selecionada possuíam altura máxima de 68,5 metros. Assim, considerando os tamanhos dos *grids* no eixo “z” de 4m, o tamanho da área no editor de criação para a altura ficou em 35m (z), para todos os cenários simulados. Adotou-se uma estrutura equidistante para a grade vertical, resultando em uma altura suficiente para a distância entre o topo do edifício e o topo do modelo ser duas vezes a altura do edifício mais alto, pois o modelo se estende a uma altura de, pelo menos, o dobro do maior obstáculo. Acima disso, o ENVI-Met© utiliza camadas adicionais para chegar à altura de 2500m (altura média da camada limite atmosférica a partir do nível do mar).

A Figura 64 mostra o editor de criação do modelo principal (*Main model área*) com a



área de 90 (x) x 40 (y) x 35(z) grids.

Figura 64: Editor de criação do modelo da área

Fonte: Autora (2017).

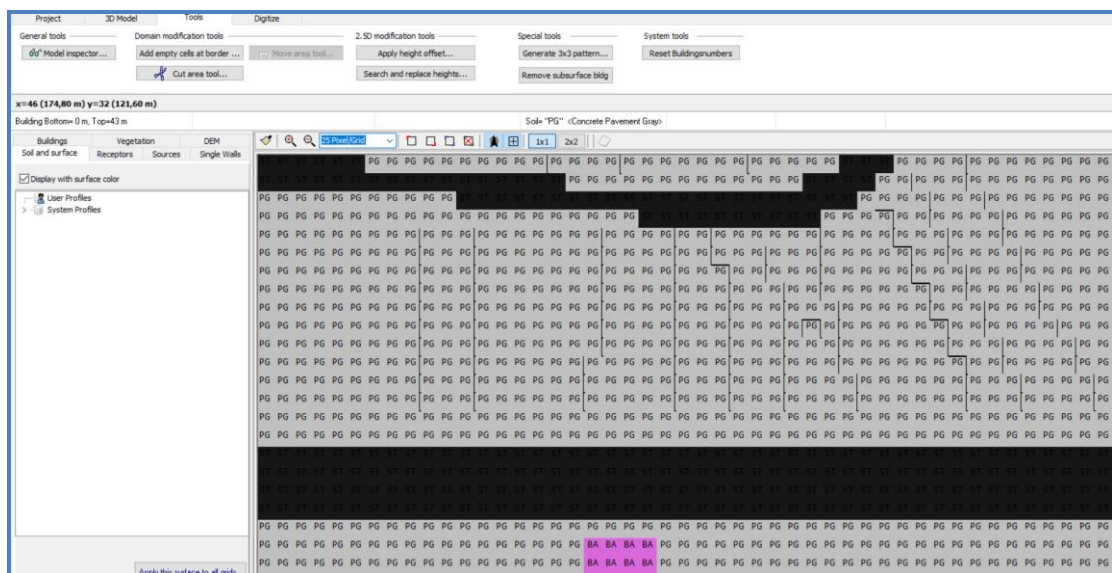
O modelo possui um padrão para os materiais de pavimentação das ruas e calçadas, como asfalto e outros tipos de solo. Foram selecionados quatro tipos de componentes: o asfalto representado por cor preta, o basalto por cor rosa, o concreto por cor cinza e o solo tipo argiloso, padrão do programa, representado por cor laranja. Os locais, correspondentes aos posicionamentos das pavimentações, foram inseridos de acordo com a observação *in loco* e com o auxílio da planta em dwg. A Figura 65 apresenta a tela de editor dos componentes do solo do programa. O editor possui a possibilidade de aumentar a resolução, por meio de aproximação da Figura e assim editar com maior precisão a localidade do componente adotado (Figura 66).

Figura 65: Editor de componentes do solo



Fonte: Autora (2017).

Figura 66: Editor de componentes do solo com maior aproximação



Fonte: Autora (2017).

O modelo possibilita também a edição das propriedades dos materiais, utilizados nos edifícios, por meio da ferramenta do próprio programa “*Database Manager (DB Manager)*” e, com a inserção de até três tipos de materiais para a parede das edificações, podendo ser editado ou mesmo utilizado o banco de dados existente. Os dados específicos para cada material são: coeficiente de absorção, espessura, albedo. Nessa versão, também é possível inserir os componentes das edificações, como vidro, com o uso da plataforma de inserção em 3D.

O material do vidro foi escolhido dentre os padrões disponibilizados pelo programa, conforme mostrado na Figura 67. A localidade dos vidros nas fachadas seguiu, ao

máximo, a proximidade com o existente, dado que havia uma limitação das dimensões da janela de acordo com o tamanho do *grid*.

Figura 67: Edição para inserção dos vidros nas paredes



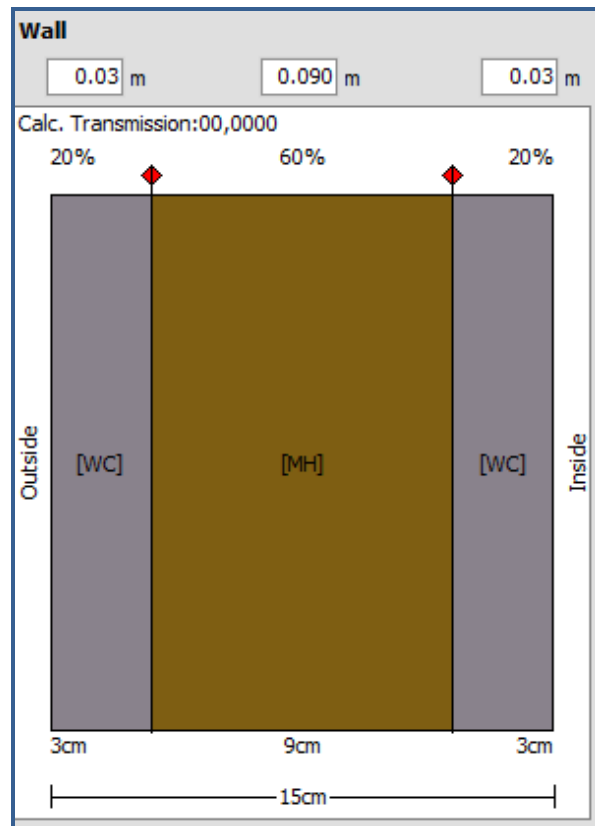
Fonte: Autora (2017).

Para as simulações, foram criados, no *DB manager*, os materiais com características térmicas compatíveis com as que foram observadas na área. Foram adotadas as mesmas propriedades térmicas para os materiais das paredes de todos os edifícios.

A Figura 68 apresenta o exemplo de um arquivo configurado, o editor para os materiais aplicados nas paredes. As paredes externas e internas receberam o revestimento de argamassa de 3 cm, enquanto o material do meio, o bloco cerâmico, foi definido com 9 cm.

As propriedades térmicas dos materiais foram obtidas do Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas, elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações -LabEEE, vinculado ao Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina da Universidade Federal (2011).

Figura 68 - Edição das dimensões e componentes das paredes



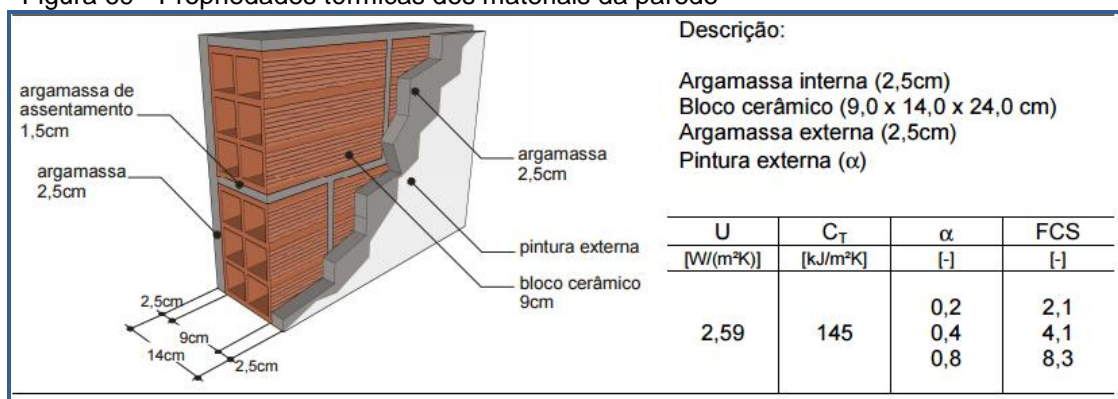
Fonte: Autora (2017).

As propriedades apresentadas foram extraídas da norma NBR 15220 e adaptadas ao Catálogo, que consistem em transmitância térmica (U), como “inverso da resistência térmica total, que é o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente”, incluindo as resistências superficiais internas e externas; capacidade térmica (CT), como a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura” e fator de calor solar (FCS), como o “quociente entre taxa de um componente sob um determinado ângulo de incidência pela radiação solar total incidente”, cujo valor foi calculado pelos três valores de absorvância distintos (Figura 69).

O conjunto de argamassa e bloco cerâmico possui o índice de transmitância térmica U de 2,59 W/ (m². K)



Figura 69 - Propriedades térmicas dos materiais da parede



Fonte: Lamberts *et al.* ( 2011).

As propriedades dos materiais, utilizados nos telhados de fibrocimento e cerâmica, foram obtidas também do Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas (LAMBERTS *et al.* 2011). Verifica-se que o índice de transmitância térmica é considerado o mesmo para o conjunto: laje pré-moldada, lajota cerâmica, câmara de ar e telha seja de fibrocimento ou telha cerâmica. Já o índice de capacidade térmica é menor na telha de fibrocimento do que da telha cerâmica, demonstrando a maior capacidade de variar a temperatura.

A tabela apresenta a densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ). Os materiais do telhado com fibrocimento foram obtidos da norma NBR 15220:2003 e adaptados no Catálogo, apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados para as coberturas

Material	Propriedade térmica		
	Densidade de massa aparente ( $\rho$ )	Condutividade térmica ( $\lambda$ )	Calor específico ( $c$ )
	[kg/m³]	[W/(m.K)]	[J/(kg.K)]
Argamassa de reboco	2000	1,15	1,00
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Concreto (laje)	2200	1,75	1,00
Fibrocimento	1900	0,95	0,84
Gesso	750	0,35	0,84
Madeira	600	0,15	1,34
PVC	1300	0,20	0,96
Telha metálica de aço	7800	55	0,46

Fonte: ABNT (2005).

O arquivo de configuração do *software* ENVI-met define as condições de

inicialização da atmosfera do período a ser estudado e necessita das seguintes informações:

- Dia de início da simulação, em formato DD.MM.AAAA;
- Horário de início da simulação, em formato HH:MM:SS;
- Período total de simulação, em horas;
- Frequência de registro de dados do estado do modelo, em minutos;
- Velocidade do vento a 10m de altura, em m/s;
- Direção do vento, em graus, em relação ao Norte;
- Rugosidade da superfície no ponto de referência;
- Temperatura inicial da atmosfera, em K;
- Umidade específica a 2500m, em g H<sub>2</sub>O/kg ar;
- Umidade relativa do ar a 2m de altura, em %.

O dia e a hora da simulação são definidos de acordo com a estação do ano em que se deseja simular. Neste estudo, o horário de 21:00 horas foi escolhido para início das simulações, com o intuito de diminuir a possibilidade de erros de convergência devido à existência de radiação de onda curta nas primeiras horas da simulação.

A umidade específica a 2500 metros de altitude é um dado de uma escala macro que, no entanto, fornece informações para a escala microclimática, relativas às especificações do ambiente urbano.

O dado de umidade absoluta em g/kg a 2.500m foi obtido do *Site* da Universidade de Wyoming – EU, no qual possui os dados de umidade absoluta da estação meteorológica de Vitória. O *site* gera uma tabela com os valores de pressão, altura, temperatura, umidade relativa entre outros dados correlacionados com a data selecionada (Tabela 6).

Tabela 6- Dados das variáveis climáticas

<b>83649 Vitoria Observations at 12Z 14 Jan 2016</b>												
PRES	HGHT	TEMP	DWPT	FRPT	RELH	RELI	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	C	%	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1010.0	4	30.0	22.0	22.0	62	62	16.79	10	10	302.3	352.2	305.3
1000.0	95	28.4	20.4	20.4	62	62	15.33	10	8	301.6	346.9	304.3
932.0	716	22.6	18.7	18.7	79	79	14.79	329	19	301.8	345.6	304.4
925.0	782	22.4	18.3	18.3	78	78	14.52	325	20	302.2	345.3	304.8
911.1	914	21.5	17.5	17.5	78	78	14.03	320	26	302.6	344.4	305.2
884.0	1176	19.8	16.0	16.0	79	79	13.10	329	26	303.4	342.6	305.8
879.0	1225	20.2	15.4	15.4	74	74	12.67	330	25	304.4	342.4	306.7
850.0	1515	19.0	14.4	14.4	75	75	12.28	340	25	306.0	343.1	308.3
790.4	2134	15.2	11.5	11.5	70	70	10.90	355	17	308.3	341.7	310.4
762.6	2438	13.2	10.1	10.1	81	81	10.27	0	12	309.5	341.1	311.4
742.0	2671	11.8	9.0	9.0	83	83	9.80	355	13	310.3	340.6	312.1
700.0	3159	10.2	7.2	7.2	82	82	9.18	345	15	313.8	342.6	315.5
676.0	3449	9.2	5.3	5.3	77	77	8.33	350	17	315.8	342.2	317.4
611.8	4267	4.6	0.7	0.7	76	76	6.64	5	21	319.6	341.1	320.9
579.0	4718	2.0	-1.8	-1.6	76	76	5.83	346	16	321.6	340.8	322.8
565.0	4916	2.4	-14.6	-13.0	27	27	2.19	337	14	324.4	332.0	324.8
512.0	5703	-3.3	-17.3	-15.5	33	34	1.93	303	5	326.7	333.6	327.1
506.0	5796	-3.9	-11.9	-10.6	54	56	3.05	299	4	327.1	337.7	327.7
500.0	5890	-4.5	-17.5	-15.7	36	37	1.95	295	3	327.5	334.4	327.9
489.0	6065	-5.9	-16.9	-15.1	42	44	2.09	308	3	327.9	335.3	328.3
487.1	6096	-5.8	-20.9	-18.8	29	31	1.49	310	3	328.3	333.7	328.6
481.0	6195	-5.7	-33.7	-30.6	9	9	0.46	321	4	329.6	331.5	329.8
400.0	7620	-13.9	-49.9	-46.0	3	4	0.10	125	20	336.8	337.3	336.9

Fonte: University of Wyoming (2016). Site://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

Os dados de temperatura ( $^{\circ}$  C) e umidade (%), assim como a velocidade do vento (m/s) e a direção do vento, foram extraídos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme mostra a tabela 7.

Tabela 7- Valores de dados climáticos para Vitória

Data		Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
	UTC	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.	Raj.	(kJ/m²)	(mm)
14/01/2016	00	27.9	28.1	27.8	67	71	66	21.2	22.2	21.0	1009.6	1009.7	1009.5	2.9	332°	8.2	-3.27	0.0
14/01/2016	01	27.6	27.9	27.6	65	68	65	20.4	21.3	20.4	1009.9	1009.9	1009.6	1.6	347°	6.8	-3.23	0.0
14/01/2016	02	27.0	27.9	27.0	73	73	63	21.7	21.7	20.1	1009.7	1010.1	1009.6	3.1	21°	6.5	-2.86	0.0
14/01/2016	03	26.7	27.0	26.7	72	74	72	21.3	21.8	21.3	1009.2	1009.7	1009.2	2.1	341°	6.5	-3.36	0.0
14/01/2016	04	26.7	27.0	26.7	70	72	67	20.8	21.2	20.4	1008.7	1009.2	1008.7	2.6	310°	7.3	-3.44	0.0
14/01/2016	05	26.5	26.7	26.5	71	71	69	20.7	20.9	20.6	1008.5	1008.7	1008.1	1.1	360°	5.5	-3.54	0.0
14/01/2016	06	25.5	26.6	25.5	79	80	69	21.5	21.8	20.4	1008.3	1008.5	1008.2	2.7	30°	5.8	-3.51	0.0
14/01/2016	07	25.1	25.5	25.1	81	81	79	21.7	21.7	21.5	1008.5	1008.5	1008.3	2.6	28°	7.0	-3.45	0.0
14/01/2016	08	25.1	25.1	25.1	80	81	80	21.4	21.7	21.4	1009.2	1009.2	1008.5	1.8	18°	7.0	-3.50	0.0
14/01/2016	09	25.6	25.6	25.1	76	80	76	21.0	21.4	21.0	1009.7	1009.7	1009.2	3.3	11°	6.9	73.14	0.0
14/01/2016	10	27.1	27.1	25.6	70	77	69	21.1	21.3	20.8	1010.3	1010.3	1009.7	2.2	4°	8.4	443.0	0.0
14/01/2016	11	29.7	29.7	27.1	58	70	56	20.5	21.2	20.0	1010.5	1010.5	1010.2	2.4	10°	5.6	1688.	0.0
14/01/2016	12	31.9	31.9	29.8	49	58	47	19.8	21.1	19.1	1010.4	1010.6	1010.3	2.6	336°	5.8	2457.	0.0
14/01/2016	13	33.5	33.5	31.8	43	49	43	19.3	20.1	19.0	1010.2	1010.4	1010.1	2.8	351°	7.5	3104.	0.0
14/01/2016	14	34.2	34.9	33.5	40	45	38	18.7	20.1	18.3	1009.8	1010.1	1009.7	5.0	332°	11.2	3264.	0.0
14/01/2016	15	33.7	34.2	33.3	44	45	39	19.8	20.2	18.4	1009.6	1009.8	1009.6	2.6	301°	11.2	1839.	0.0
14/01/2016	16	34.1	35.0	33.2	43	47	39	19.5	20.7	19.0	1009.1	1009.7	1009.1	3.6	322°	9.5	2144.	0.0
14/01/2016	17	35.5	35.6	33.6	41	46	38	20.1	20.6	19.0	1008.3	1009.2	1008.3	2.8	334°	8.6	2507.	0.0
14/01/2016	18	34.8	35.8	34.8	41	42	37	19.8	20.1	18.9	1007.6	1008.3	1007.6	2.3	4°	7.1	2747.	0.0
14/01/2016	19	32.0	34.8	32.0	60	60	40	23.4	23.4	19.1	1007.5	1007.6	1007.4	3.3	50°	7.1	1966.	0.0
14/01/2016	20	30.2	32.0	30.2	68	68	60	23.7	23.8	23.4	1007.6	1007.6	1007.4	3.5	24°	9.5	1112.	0.0
14/01/2016	21	29.1	30.2	29.1	75	76	68	24.3	24.4	23.7	1008.5	1008.5	1007.6	4.0	29°	11.2	353.2	0.0
14/01/2016	22	28.6	29.1	28.6	75	76	75	23.6	24.4	23.6	1009.4	1009.4	1008.5	4.4	24°	9.7	26.59	0.0
14/01/2016	23	28.6	28.6	28.5	73	75	73	23.3	23.6	23.3	1010.0	1010.0	1009.4	2.0	9°	9.6	-3.13	0.0

Fonte: Adaptado de INMET (2016).

Os dados foram consolidados em uma tabela para a utilização de todos os cenários simulados (Tabela 8).

Tabela 8: Dados de entrada do modelo

Dados de entrada do modelo	
Dia do início da simulação (DD.MM.AAAA)	14.01.2016
Horário do início da simulação (HH:MM:SS)	21:00:00
Total de horas de simulação	24.00
Salvar o modelo a cada min	120
Vel. vento a 10 m da superfície [m/s]	4.0
Direção do vento (0: N..90:E..180:S..270:W)	29
Comprimento de rugosidade	0.01
Temperatura do ar inicial [C]	29.10
Umidade específica a 2500 m [g /kg]	10.27
Umidade relativa a 2m [%]	75

Fonte: Autora (2016).

A direção do vento foi definida como nordeste. A velocidade do vento na altura de 10 m foi definida como 4m/s. As simulações foram iniciadas num típico dia de verão, às 9 horas da noite e o período de simulação foi de 24 horas. A temperatura inicial do ar foi ajustada para 29.10° C e a umidade relativa na altura de 2 m foi ajustada para 75%, conforme dados do INMET.

A rugosidade determina o atrito entre as superfícies e o ar. O valor solicitado pelo modelo corresponde à rugosidade da superfície logo abaixo do anemômetro. Neste caso, de pavimento liso de concreto, a rugosidade típica é de 0,01.

No software esses dados são inseridos no editor de dados, chamado de Meteorology: Basic settings e serve como definição dos dados básicos de meteorologia (Figura 72).



Figura 70 - Editor de dados – ENVI- met

**Meteorology: Basic settings**  
Define the basic meteorological framework for your simulation

**Initial meteorological conditions**

**Wind uvw**  
Wind speed measured in 10 m height (m/s):   
Wind direction (deg):  (0= from North...180= from South...)  
Roughness length at measurement site:

**Temperature T**  
Initial temperature of atmosphere (K):  = 29.10 °C (Calculated when forcing is used)

**Humidity q**  
Specific humidity at model top (2500 m, g/kg):   
Relative humidity in 2m (%):

Fonte: Autora (2016).

### 3.2.2. Sistematização dos resultados

A sistematização dos dados foi realizada por meio do programa Excel. Foram produzidas planilhas de modo a organizar os dados pelos seguintes elementos climáticos: Temperatura do ar; Umidade Relativa; Velocidade do Ar; MRT; PMV e PPD. Durante a produção das tabelas, foram reunidos os resultados para cada variável climática, agrupando todos os cenários simulados. Posteriormente, as diferenças entre o cenário atual e os cenários de telhados verdes e cenário de fachadas verdes foram analisadas.

Os dados foram resumidos em um índice final de média percentual das diferenças percentuais de valores máximo e mínimo entre os cenários. Por meio de gráficos, foi possível realizar uma leitura mais direta dos resultados da média percentual e assim fazer uma análise crítica sobre o comportamento da variável ao longo do dia.

Os horários dos dados de saída do programa abrangeram o período matutino, vespertino e noturno, com intervalos de duas horas. Segundo Silva (2013) a orientação técnica da Organização de Meteorologia Mundial é de registros para cada 3 horas. Para o adequado tratamento dos dados nesses diferentes horários, analisou-se as respostas das simulações para as 8 horas durante o dia; 7h, 9h, 11h, 13h, 15h, 17h, 19h e 21h. Posteriormente, foram analisados os horários que mais

influenciavam nas variáveis. Em virtude disso, foram selecionados os horários em função do índice PMV, pois o mesmo condensa os fatores climáticos em um único índice. Com a finalidade de se destacar os horários, cujas mudanças sejam maiores no microclima, percebeu-se que os dados da tecnologia de parede verde, nos horários das 9 horas, 15 horas e 19 horas mantiveram maior influência da tecnologia para os valores de conforto térmico. Sendo assim, os mapas foram analisados dentro desses horários para uma análise pormenorizada.

A seguir serão apresentados os cenários da modelagem.

### 3.2.3. Cenários de modelagem

Para esta pesquisa, foram considerados três cenários de modelagem, com o intuito de avaliar seu efeito sobre as variáveis do clima. Dessa forma, além da simulação do ambiente térmico para a situação real da área de estudo, foram construídos dois cenários com inserção das superfícies vegetadas, um com fachadas verdes e o outro com telhados verdes.

#### 3.2.3.1. Cenário Atual

Para a estratégia da configuração atual, foram simuladas todas as edificações, sem considerar a inserção de áreas vegetadas nas edificações, ou seja, as edificações como são, com revestimento e material construtivo já especificado na página 95, e a pavimentação da via e calçada (Figura 73).

Figura 71 - Cenário atual



Fonte: Autora (2016).

A simulação do cenário atual é extremamente necessária e importante para permitir a comparação do comportamento com telhados verdes e com paredes verdes, de modo a avaliar se há melhoria e em que medida.

### 3.2.3.2. Cenário com paredes verdes

Para a estratégia das paredes verdes, o cenário foi simulado com a aplicação nas edificações que possuem condições para receber essa técnica, ou seja, aquelas que não possuem programa de estado de preservação (Figura 74).

Figura 72 - Cenário parede verde



Fonte: Autora (2016).

### 3.2.3.3. Cenário com telhados verdes

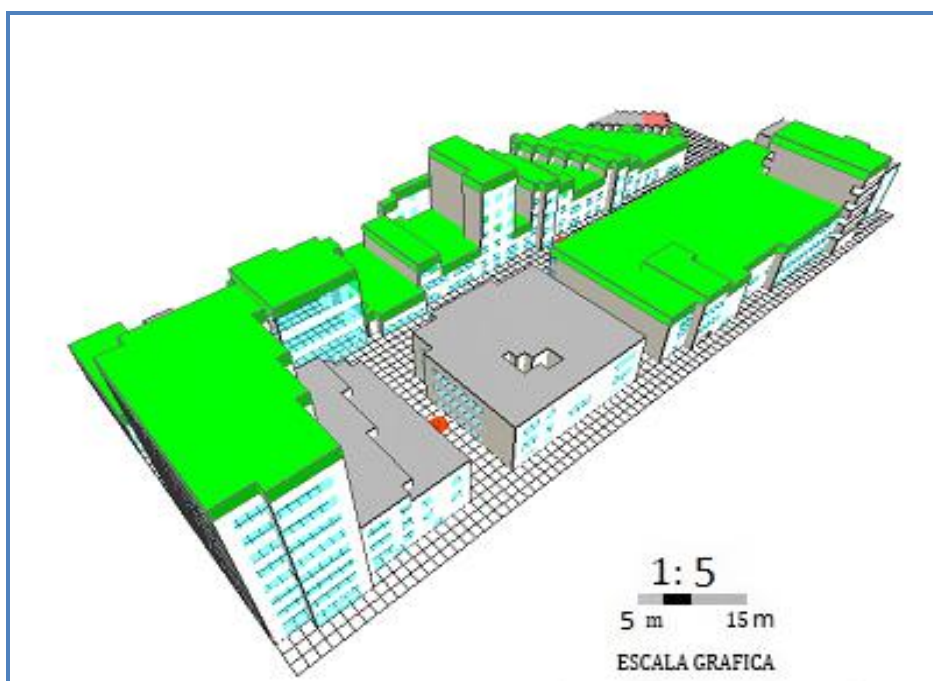
A inserção da estratégia de telhado verde nas edificações contidas na área de estudo, foi baseada também nas edificações que poderiam incluir o telhado vegetado, ficando excluídas as que possuíam algum interesse em tombamento.

Todas as tipologias são aptas a receber a tecnologia, pois a inclinação máxima para recebimento é de até 30 graus e, conforme visita *in loco* e imagens obtidas no Google Earth, os telhados da área possuem inclinação menor que a máxima

permitida. A Figura 75 apresenta a área total, com a inserção dos telhados verdes (ECOTELHADO, 2016).

Cabe salientar que foi utilizada toda a superfície da cobertura pois para a simulação não era necessário fazer o projeto para edifício, descartando as áreas como circulação, caixa d'água, casa de máquinas, entre outros.

Figura 73 - Configuração da área com telhado verde



Fonte: Autora (2016).

#### 3.2.4. Definição dos parâmetros para análise do conforto do pedestre

O Modelo ENVI-Met versão *free* gera dados dos seguintes índices: PMV e PPD. O *software* avalia esses índices a partir dos parâmetros de entrada definidos no arquivo de configuração do modelo e das variáveis modeladas no cenário de estudo.

Esses índices de análise de conforto térmico possuem o uso em âmbito internacional, que proporciona comparabilidade. Em adição à sua ampla utilização, pode ser continuamente desenvolvida por vários grupos de trabalho.

Para o cálculo da sensação térmica do homem padrão, as seguintes características

foram consideradas: idade 35 anos, altura 1,75m e peso 75kg. O valor de isolamento térmico das roupas considerado foi de 0,9 clo, a taxa metabólica utilizada foi de 164,49 W/m<sup>2</sup>.

### 3.2.5. Definição da vegetação usada nas superfícies

No ENVI-met, as plantas são agrupadas em três principais tipos: árvores decíduas, coníferas e gramíneas. As decíduas são caracterizadas pela perda de folhas no inverno. As coníferas representam uma categoria de árvores “[...] com folhas aciculares, lineares ou lanceoladas, cone lenhoso [...]” (MICHAELIS, 1998). O pinheiro é um representante. Já as gramíneas são da “Família de plantas glumifloras que compreende, em geral, ervas [...] de pequeno porte (MICHAELIS, 1998).

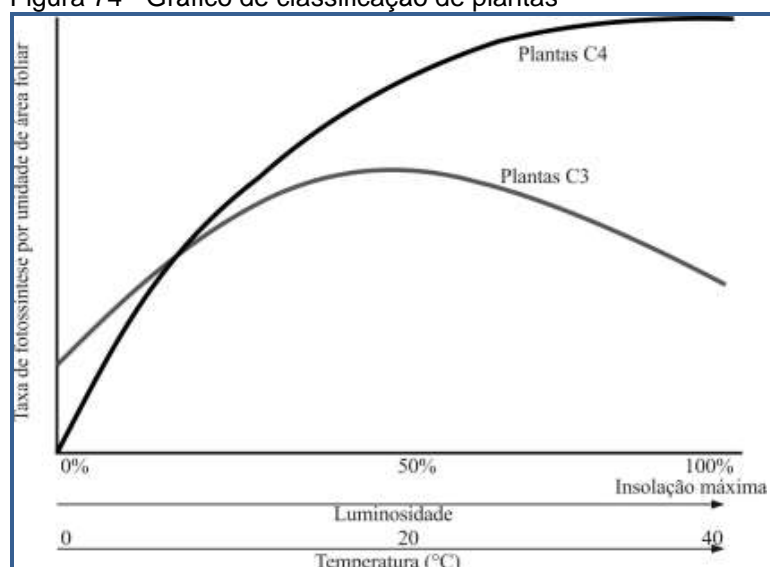
Por meio da biblioteca de vegetação do ENVI- met é possível configurar os dados como o tipo de fixação do CO<sub>2</sub>, o albedo da folha para radiação de onda curta, a altura da planta (m), a profundidade total da zona de raízes, a densidade de área foliar (*Leaf Area Density*- LAD em m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) no perfil vertical de 10 pontos na planta e a densidade de área radicular (*Root Area Density*- LAR em m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) no perfil vertical de 10 pontos na planta.

As alturas das vegetações, no software, podem variar entre gramíneas, com 4 cm, pequenos arbustos de 50 cm, até árvores densas de altura de 20 m.

O tipo de fixação de CO<sub>2</sub> pode ser definido pelos símbolos C3 ou C4. O primeiro responde a taxa de fotossíntese maior sem a luminosidade, enquanto que o segundo aumenta a taxa conforme aumenta a temperatura e luminosidade.

A Figura 76 apresenta o gráfico da relação entre luminosidade e taxa de fotossíntese para cada tipo. Verifica-se pelo gráfico que a taxa de fotossíntese para as plantas tipo C4 aumentam mais rápido do que as plantas C3. Porém o tipo C4 não depende de luminosidade inicial para realizar a fotossíntese.

Figura 74 - Gráfico de classificação de plantas



Fonte: Rosseti (2013).

Adotou-se o tipo de planta *default* Grama, densa, para a simulação do telhado vegetado. O albedo da planta considerado pelo *software* é 0.2. A altura da planta é 0.63 cm, a profundidade da raiz de 0.5 cm, a densidade da vegetação de  $0.3\text{m}^2/\text{m}^3$ . A largura da raiz é de 0.1cm e o tipo de fixação C3 (Tabela 9).

Tabela 9- Dados de entrada da grama

Database-ID: [XXX]	
Name: <u>Grass 50 cm aver. dense</u>	
Parameter	Value
Alternative Name	(None) ...
CO2 Fixation Type	C3 ▼
Leaf Type	Gras ▼
Albedo	0.20000
Plant height	0.63000
Root Zone Depth	0.50000
Leaf Area (LAD) Profile	0.30000,0.30000,0.30000,0.30000,0.30000
Root Area (RAD) Profile	0.10000,0.10000,0.10000,0.10000,0.10000
Season Profile	1.00000,1.00000,1.00000,1.00000,1.00000

Fonte: Autora (2017).

O banco de dados do *software* para a versão 4.0 não possui o arquivo para o tipo de vegetação adotada em paredes verdes. Diante disso, foi realizada uma pesquisa com o intuito de encontrar estudos com a utilização do mesmo *software* e com o mesmo objeto de pesquisa.

Devido à dificuldade de encontrar estudos com espécies para o hemisfério sul, foram adotados os dados da pesquisa realizada na Alemanha pelo Departamento de

Ecologia do Instituto de Berlim. Os autores Britta Jänicke, Fred Meier, Marie-Therese Hoelscher e Dieter Scherer publicaram na revista *Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology*, em 2015, um estudo sobre a avaliação dos efeitos das fachadas verdes com enfoque bioclimático. As informações da planta de nome científico, *Parthenocissus tricuspidata*, conhecida como Hera-japonesa, uma trepadeira semi lenhosa, decídua, foram retiradas por meio de um medidor de radiação conforme visto na Figura 77.

Figura 75 - Medidor de radiação em plantas - Berlim

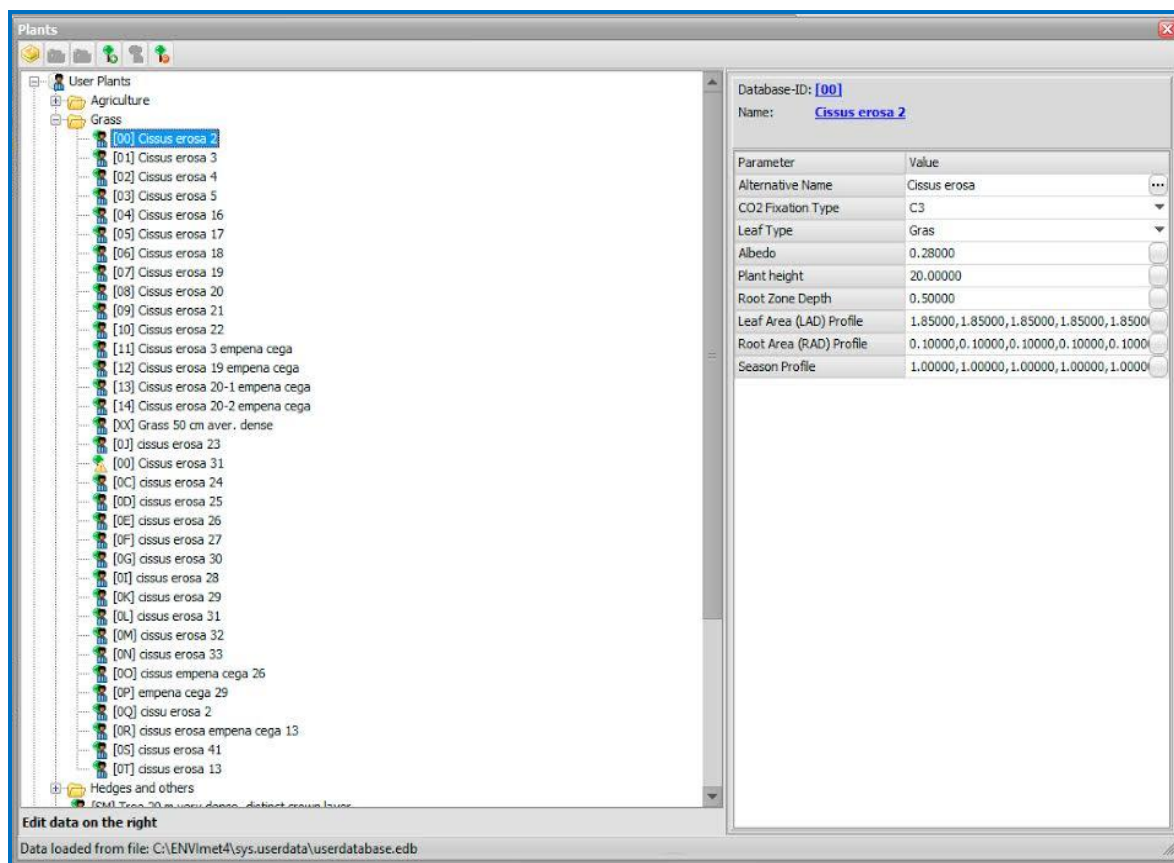


Fonte: Adaptado de Britta *et al.* (2015).

Nesse estudo, foi medido o albedo das plantas de 0.28 e a densidade da espécie (LAD) de  $1.85\text{m}^2/\text{m}^3$ . Assim, foi possível inserir os dados de entrada para serem arquivados no documento do banco de dados de plantas do Envi-met "PLANTS.DAT", com as respectivas alturas relacionadas à cada edificação. A Figura 76 apresenta os dados editados.

Figura 76 - Editor de configuração de plantas





Fonte: Autora (2017).

### 3.3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados serão apresentados para cada um dos horários de simulação, definidos por meio dos valores de PMV que fossem representativos para demonstrar o conforto térmico nos horários determinados da manhã, da tarde e pela noite. Esses horários foram 9 horas pela manhã, 15 horas pela tarde e 19 pela noite. Cada Figura de horário simulado será composta de três pequenas plantas, representando cada um dos cenários simulados- atual, fachadas verdes e telhados verdes. Desta forma pode-se comparar o dado simulado de forma compreender os elementos climáticos na geometria urbana.

As Figuras foram extraídas por meio do programa plug-in do Envi-met, Leonardo 3.75, e foi possível visualizar por meio de mapas os dados gerados.

Os mapas gerados foram extraídos e editados em conjunto com o grupo de

pesquisa "Reabilitação Urbana e Ambiental", ligada ao curso de Arquitetura e Urbanismo da UFES.

Para a comparação dos resultados, as temperaturas máximas e mínimas foram analisadas por meio dos mapas gerados nos horários apresentados pelo ENVI- met.

A paleta de cores foi escolhida e montada de forma a demonstrar a variação, representando em cores, a sensação climática, como cores “quentes” para temperaturas mais elevadas e cores mais “frias” para temperaturas menores. Foram realizados vários testes até que se encontrasse a paleta de cor que melhor se adequasse a cada item demonstrando a seguir pelos elementos climáticos e índices de conforto térmico. A seguir serão demonstrados esses resultados.

#### 3.3.1.1. Temperatura do ar ( °C)

Por meio da planilha comparativa (Tabela 10), observa-se que a maior influência dos telhados verdes na temperatura do ar, em relação à média percentual foi no horário das 7 horas. Porém quando se avalia o valor absoluto de cada máxima e mínima, para o período matutino, encontra-se a maior influência às 9 horas da manhã, com valor de - 0,13 ° C para o valor da máxima. Já para o período noturno, o maior valor de variação foi de -0,22%. Verifica-se que a partir das 9 horas até as 11 horas, os valores da temperatura aumentam para a temperatura mínima às 9 horas e para as máximas e mínimas das 11 horas de 0,03 % a 0,12%, com média percentual de 0,08% maior que o cenário atual. Em estudo de Rosseti *et al* (2013) esse mesmo efeito de aumento da temperatura próximo às 11 horas foi encontrado na pesquisa utilizando protótipo com telhados vegetados.

Para a técnica das paredes verdes, verifica-se os maiores valores para o período matutino, chegando às -12,38% às 11 horas (Figura 77), demonstrando que as fachadas verdes permitem uma temperatura máxima de 5 °C mais baixa que no cenário atual. Os valores de redução na temperatura do ar se devem justamente à evapotranspiração da vegetação.

Tabela 10- Tabela Comparativa de Temperatura do ar

PLANILHA COMPARATIVA -TEMPERATURA DO AR										
VALORES ABSOLUTOS (° C )					DIFERENÇA ABSOLUTA (° C )		DIFERENÇA PERCENTUAL (%)		MÉDIA PERCENTUAL (%)	
HORÁRIOS		CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE
7h	Min.	23,16	23,1	20,66	-0,06	-2,50	-0,26%	-10,79%	-0,25%	-10,59%
	Máx.	23,96	23,9	21,47	-0,06	-2,49	-0,25%	-10,39%		
9 h	Min.	29,04	29,05	27,31	0,01	-1,73	0,03%	-5,96%	-0,19%	-6,89%
	Máx.	31,19	31,06	28,75	-0,13	-2,44	-0,42%	-7,82%		
11	Min.	30,75	30,76	27,21	0,01	-3,54	0,03%	-11,51%	0,08%	-12,38%
	Máx.	33,14	33,18	28,75	0,04	-4,39	0,12%	-13,25%		
13 h	Min.	32,47	32,45	31,29	-0,02	-1,18	-0,06%	-3,63%	-0,03%	-4,01%
	Máx.	35,09	35,09	33,55	0,00	-1,54	0,00%	-4,39%		
15 h	Min.	34,03	33,96	32,16	-0,07	-1,87	-0,21%	-5,50%	-0,20%	-6,53%
	Máx.	37,53	37,46	34,69	-0,07	-2,84	-0,19%	-7,57%		
17h	Min.	32,53	32,46	30,86	-0,07	-1,67	-0,22%	-5,13%	-0,18%	-5,35%
	Máx.	33,93	33,88	32,04	-0,05	-1,89	-0,15%	-5,57%		
19 h	Min.	29,38	29,33	28,38	-0,05	-1,00	-0,17%	-3,40%	-0,22%	-3,86%
	Máx.	30,31	30,23	29	-0,08	-1,31	-0,26%	-4,32%		
21 h	Min.	28,46	28,41	27,54	-0,05	-0,92	-0,18%	-3,23%	-0,22%	-3,67%
	Máx.	29,65	29,57	28,35	-0,08	-1,22	-0,27%	-4,11%		

Figura 77 - Gráfico de Diferença média Percentual de Temperatura do ar para um dia típico de verão.

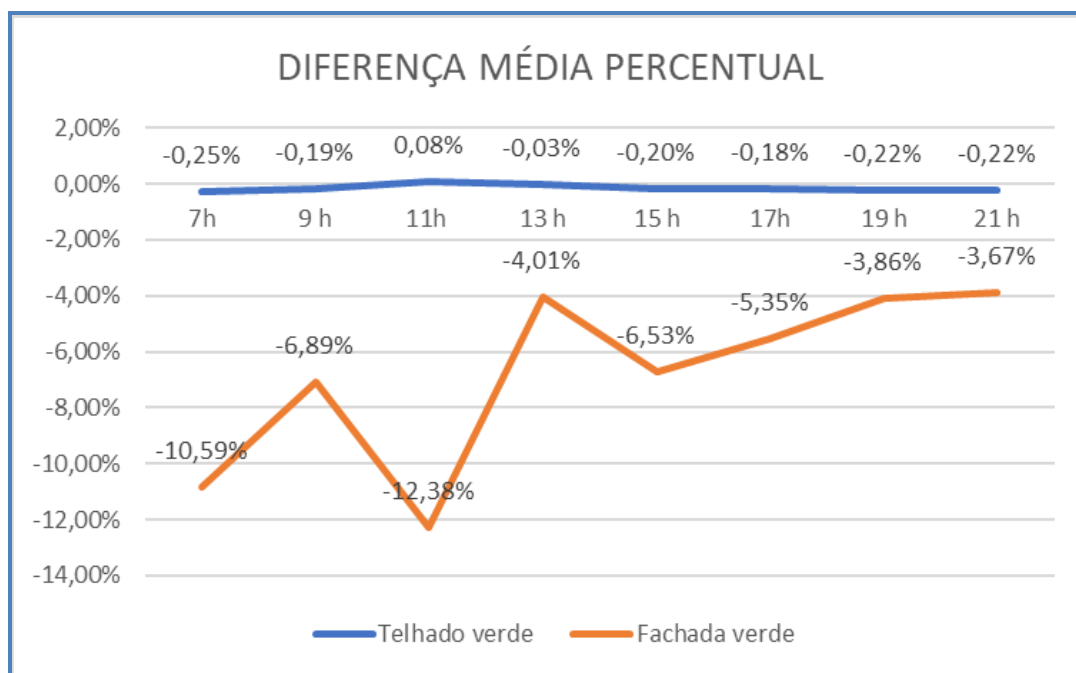
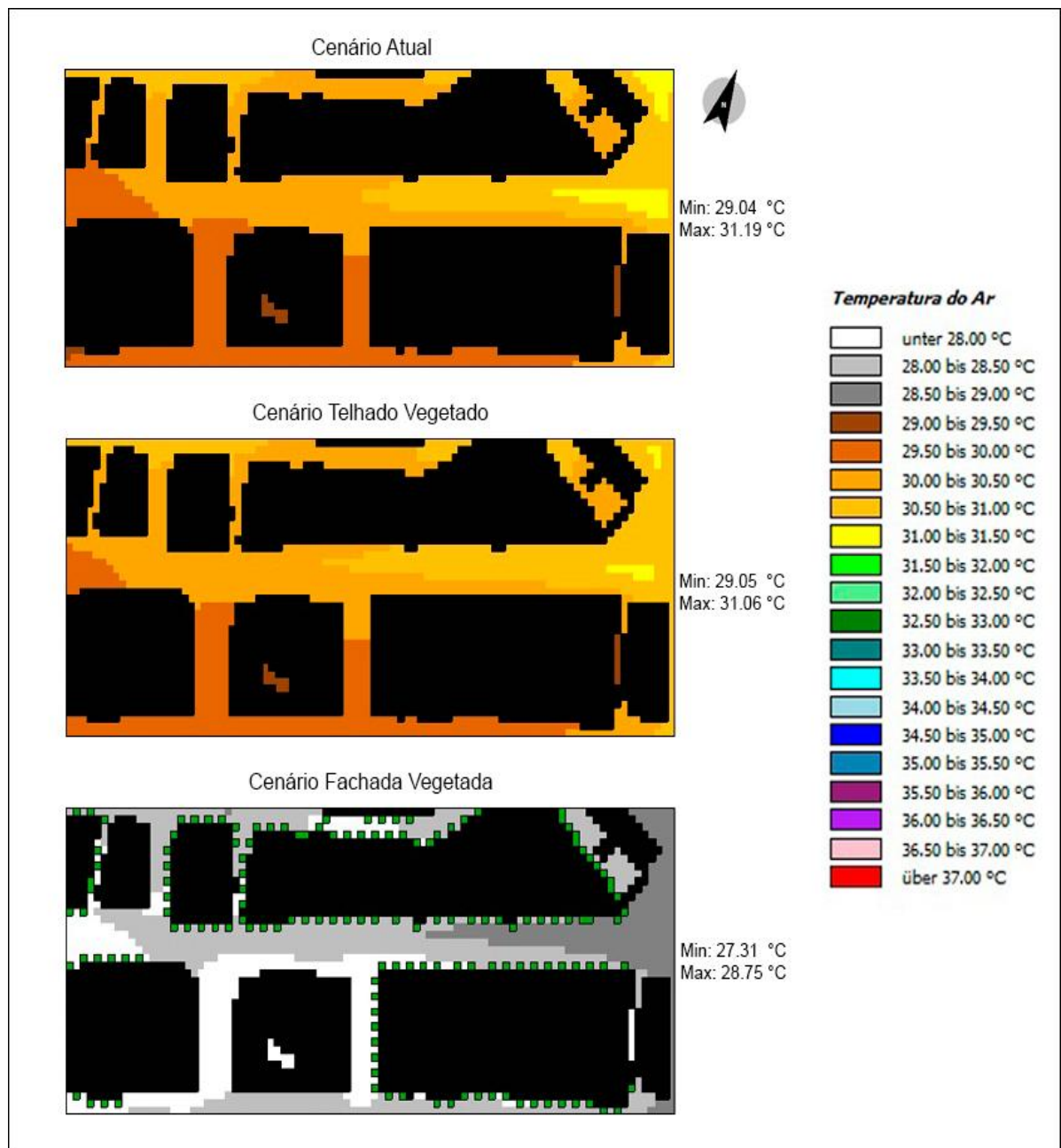


Figura 78 - Mapas de Temperatura do Ar - 9 horas



A temperatura da Avenida Jerônimo Monteiro, do lado direito do mapa é mais elevada que no entorno devido à exposição solar maior, já que as edificações são de altura de até dois pavimentos. Além disso, o formato da rua em curva, faz com que a incidência solar se prolongue durante o dia e a tarde.

Com relação à rugosidade da área à direita do mapa, ou seja, a geometria das massas edificadas possui o mesmo tipo de gabarito. Esse fator impede as trocas de

ar, pelo efeito da porosidade. Já, na área esquerda do mapa, as ruas perpendiculares à Av. Jerônimo Monteiro favorecem o deslocamento do vento, amenizando a temperatura, sendo a porosidade representada pela maior permeabilidade aos ventos. Além disso, a rugosidade disforme favorece o fluxo de ventilação da área para o cenário atual.

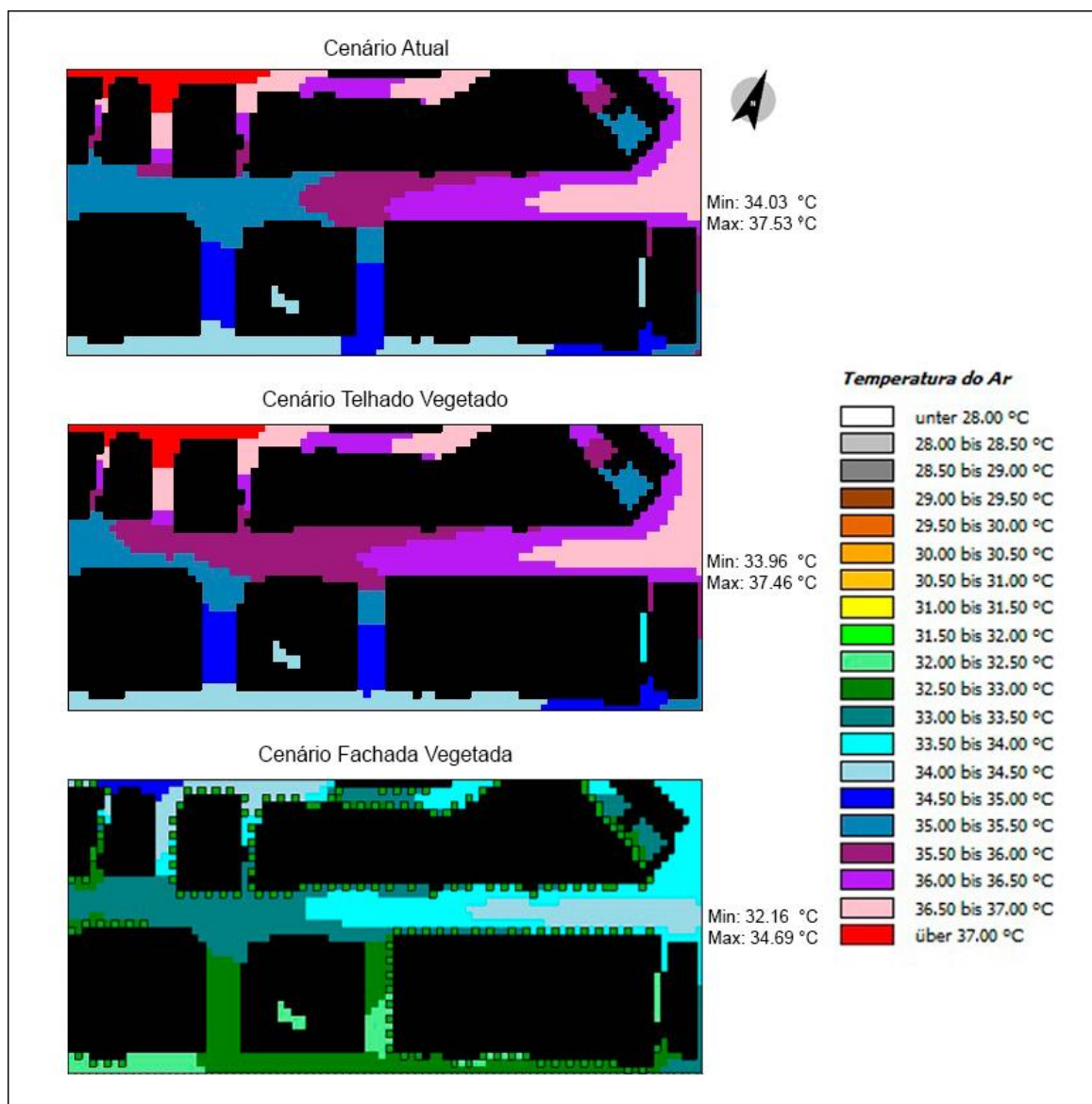
No cenário atual, pode-se observar que a temperatura do ar, às 9 horas da manhã, registrou variações em torno de 29,04°C, a 31,9° C. Na região oeste da Figura, observa-se variações menores entre 29.5°C a 30.5°C do que no lado leste, com variações entre 30.5°C a 31.5°C.

O cenário de telhado vegetado apresenta temperaturas predominantes entre 29.5°C a 30,5°C, sendo a mínima 29.05°C e a máxima 31.06°C. Esse mapa, em comparação com o cenário atual, obteve alterações mínimas, sendo a influência maior na temperatura máxima que baixou de 31.19°C para 31.06°C, apenas 0.13 °C.

O mapa de temperatura do ar no cenário da fachada verde mostra predominância da temperatura de 28,5 °C, sendo a mínima 27.31°C e a máxima 28.75°C. Em comparação com o mapa do cenário atual, observa-se uma diminuição de, aproximadamente, 2°C, sendo a região leste com maior impacto de 2,5 °C.

Verifica-se, portanto, que as influências das fachadas vegetadas não se limitam à localização da aplicação, já que toda a área do cânion urbano foi afetada pela técnica. O mesmo fato não ocorre para a técnica de telhados verdes, pois a influência ficou restrita aos valores máximos de temperatura e com pequenas alterações no mapa cromático.

Figura 79 - Mapas de Temperatura do Ar - 15 horas



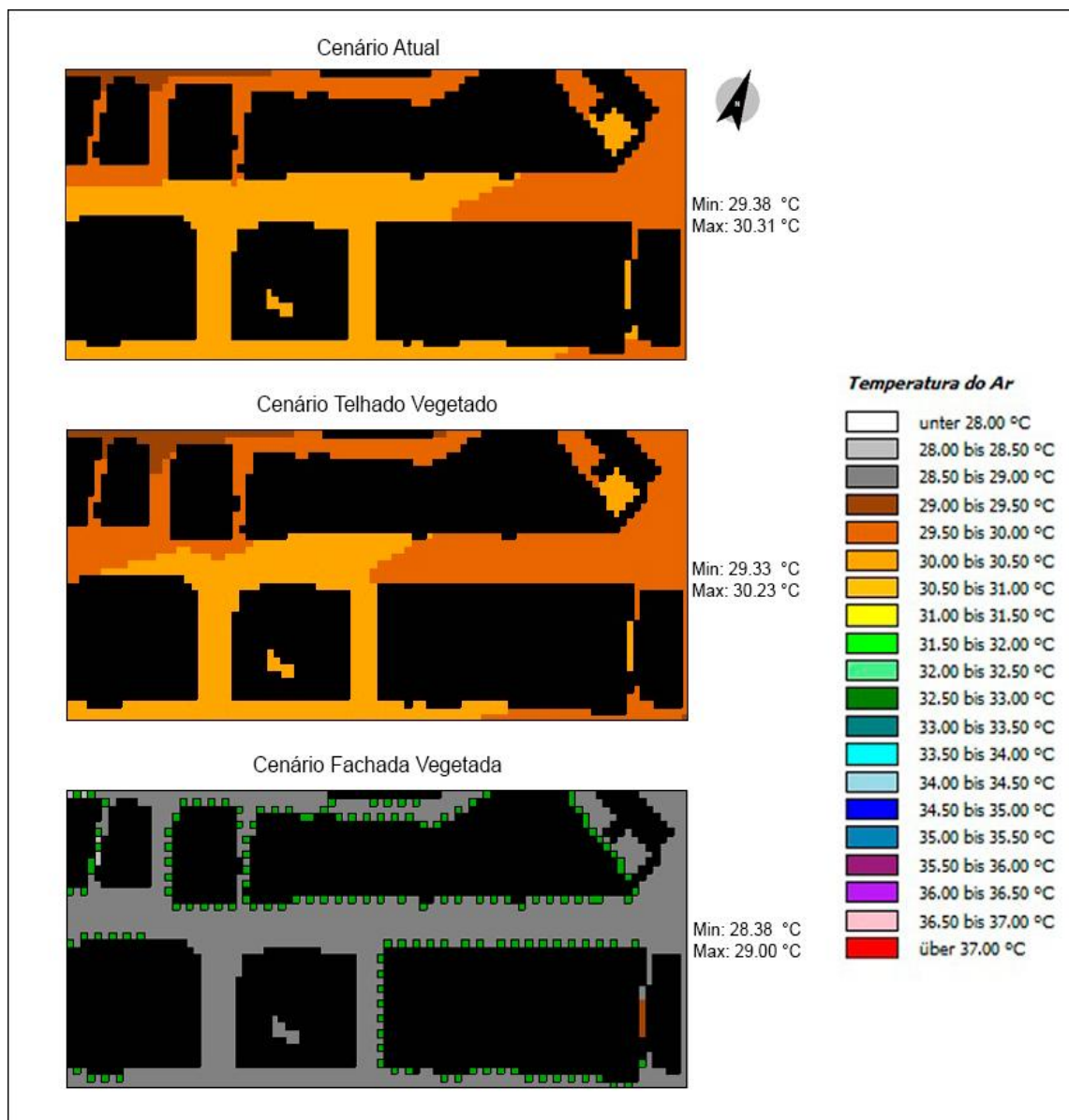
As imagens geradas pela simulação da área para o horário das 15 horas apresentaram variações de cor, registraram variações entre 34.03°C a 37.53°C. A área sudoeste registrou 35.00°C e na área leste predominaram as temperaturas de 36 °C a 37 °C. Esse resultado indica que a predominância da incidência solar na área direita do mapa.

Para o cenário de telhado verde, a predominância está em torno de 32°C a 34°C, sendo a mínima de 33.96°C e a máxima 37.46°C. As temperaturas mínimas e máximas diminuíram 0.07°C com relação ao cenário atual. Para o cenário de



fachada verde, toda a região está em torno de 32°C a 34°C, sendo a mínima 32.16°C e a máxima 34.69°C. Com relação ao mapa atual, a temperatura diminuiu em torno de 2°C em toda a região.

Figura 80: Mapas de Temperatura do Ar - 19 horas



Às 19 horas, observa-se nos mapas gerados maior homogeneidade das cores, representando assim uma menor variação no elemento climático: temperatura.

Os mapas gerados, para o cenário atual apresentam uma grande parte de área leste com valores mais baixos de temperatura, em torno de 29,5°C a 30,0°C e na área



oeste e sul apresentam são valores mais elevados de temperatura do ar, em torno de 30,0°C a 30,5°C. A temperatura mínima foi de 29,38 °C e a máxima de 30,31 °C.

Para o mapa do telhado verde, a temperatura do ar varia, sendo a mínima 29.33°C e a máxima 30.23°C. Em comparação com o mapa atual, as diferenças ficaram mais próximas de onde foi inserida a tecnologia do telhado verde, que teve variação na parte leste de 0.05 °C. As diferenças nas máximas e mínimas foram, respectivamente, de 0,08 °C e 0,05 °C.

Às 19 horas, para os mapas de fachadas verdes, a temperatura manteve-se constante praticamente em toda a área, sendo a mínima 28.38°C e a máxima 29°C. O mapa da fachada verde, comparado com o cenário atual, apresenta forte variação em toda a área representada pela cor “cinza”, referente à temperatura 28.38°C, apresentando diferença de até 1,3 °C.

Novamente, pode-se observar que o efeito das fachadas verdes não se restringe à localização da técnica, entretanto, para o efeito dos telhados verdes, os mapas demonstram que a altura parece interferir no efeito microclimático.

#### 3.3.1.2. Umidade Relativa do Ar (%)

O comportamento do telhado verde sobre a umidade relativa, representado pela Tabela 11 e Figura 81, ao longo do dia é oscilante. Há um aumento da umidade pela manhã em torno 0,16% a 0,43% e pela tarde de 0,45% a 0,99%, porém com uma diminuição de 2,15 % às 17 horas. No período noturno o aumento foi de 0,71% a 0,77%.

O estudo de Rosseti *et al* (2013), demonstrou também uma variação da umidade relativa média ao longo do dia, dificultando a obtenção de conclusões sobre a interferência da cobertura verde na umidade do ar. Para fachada verde, há um aumento da umidade relativa ao longo do dia, sendo maior no período da tarde, entre 13 e 17 horas chegando a 17,51%.

Tabela 11- Tabela Comparativa de Umidade relativa do ar

PLANILHA COMPARATIVA - UMIDADE RELATIVA DO AR										
VALORES ABSOLUTOS ( % )				DIFERENÇA ABSOLUTA ( % )		DIFERENÇA PERCENTUAL( % )		MÉDIA PERCENTUAL ( % )		
HORÁRIOS		CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE
7h	Min.	87,65	88,21	95,82	0,56	8,17	0,64%	9,32%	0,43%	7,70%
	Máx.	94,12	94,33	99,84	0,21	5,72	0,22%	6,08%		
9 h	Min.	86,57	86,99	88,58	0,42	2,01	0,49%	2,32%	0,41%	4,14%
	Máx.	93,81	94,13	99,39	0,32	5,58	0,34%	5,95%		
11h	Min.	74,99	74,93	79,19	-0,06	4,2	-0,08%	5,60%	0,16%	7,98%
	Máx.	82,99	83,32	91,58	0,33	8,59	0,40%	10,35%		
13 h	Min.	59,6	59,76	62,86	0,16	3,26	0,27%	5,47%	0,45%	11,06%
	Máx.	64,6	65,01	75,35	0,41	10,75	0,63%	16,64%		
15 h	Min.	43,22	43,67	49,35	0,45	6,13	1,04%	14,18%	0,99%	17,51%
	Máx.	50,09	50,56	60,53	0,47	10,44	0,94%	20,84%		
17h	Min.	46	46,3	51,38	0,3	5,38	0,65%	11,70%	-2,15%	14,70%
	Máx.	49,11	46,68	57,8	-2,43	8,69	-4,95%	17,69%		
19 h	Min.	51,77	52,19	57,53	0,42	5,76	0,81%	11,13%	0,71%	10,07%
	Máx.	55,48	55,82	60,48	0,34	5	0,61%	9,01%		
21 h	Min.	51,18	51,61	58,23	0,43	7,05	0,84%	13,77%	0,75%	11,96%
	Máx.	56,04	56,41	62,09	0,37	6,05	0,66%	10,14%		

Figura 81: Gráfico de Diferença média Percentual de Umidade Relativa do ar para um dia típico de verão.

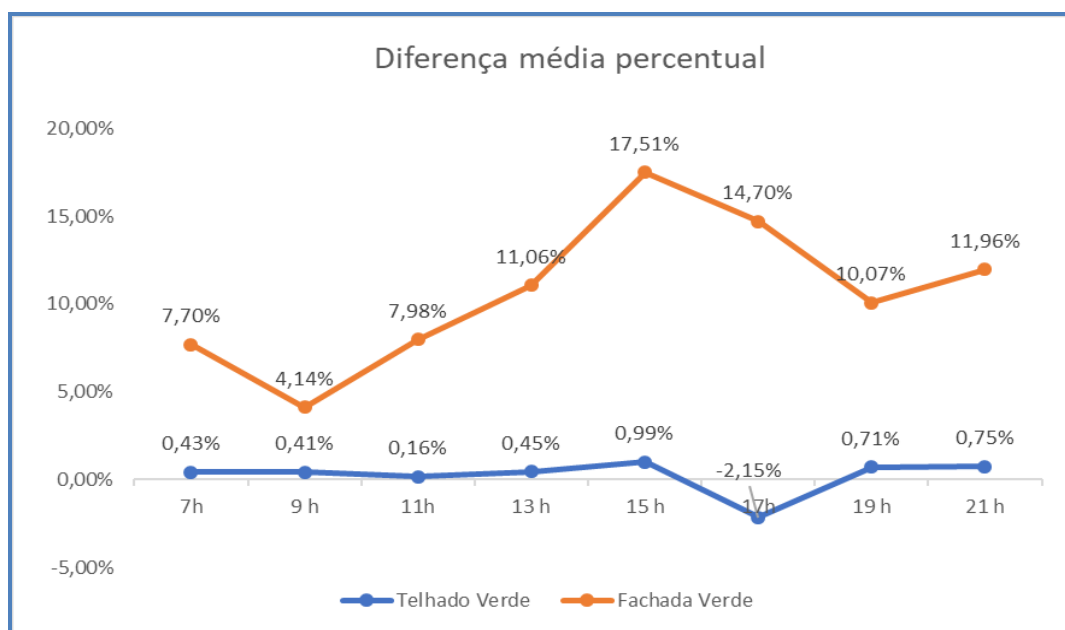
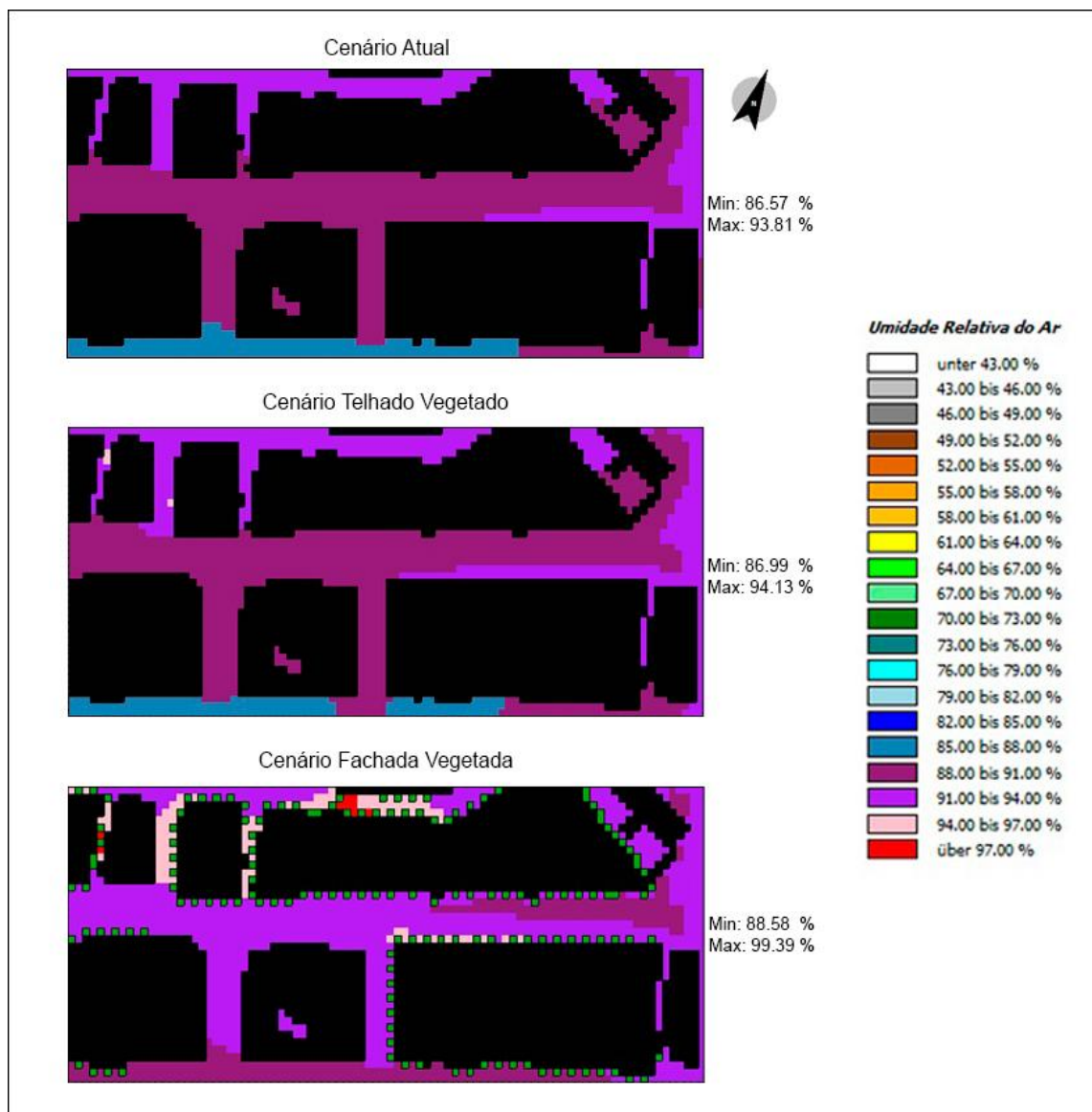


Figura 82 - Mapa Umidade Relativa - 9 horas

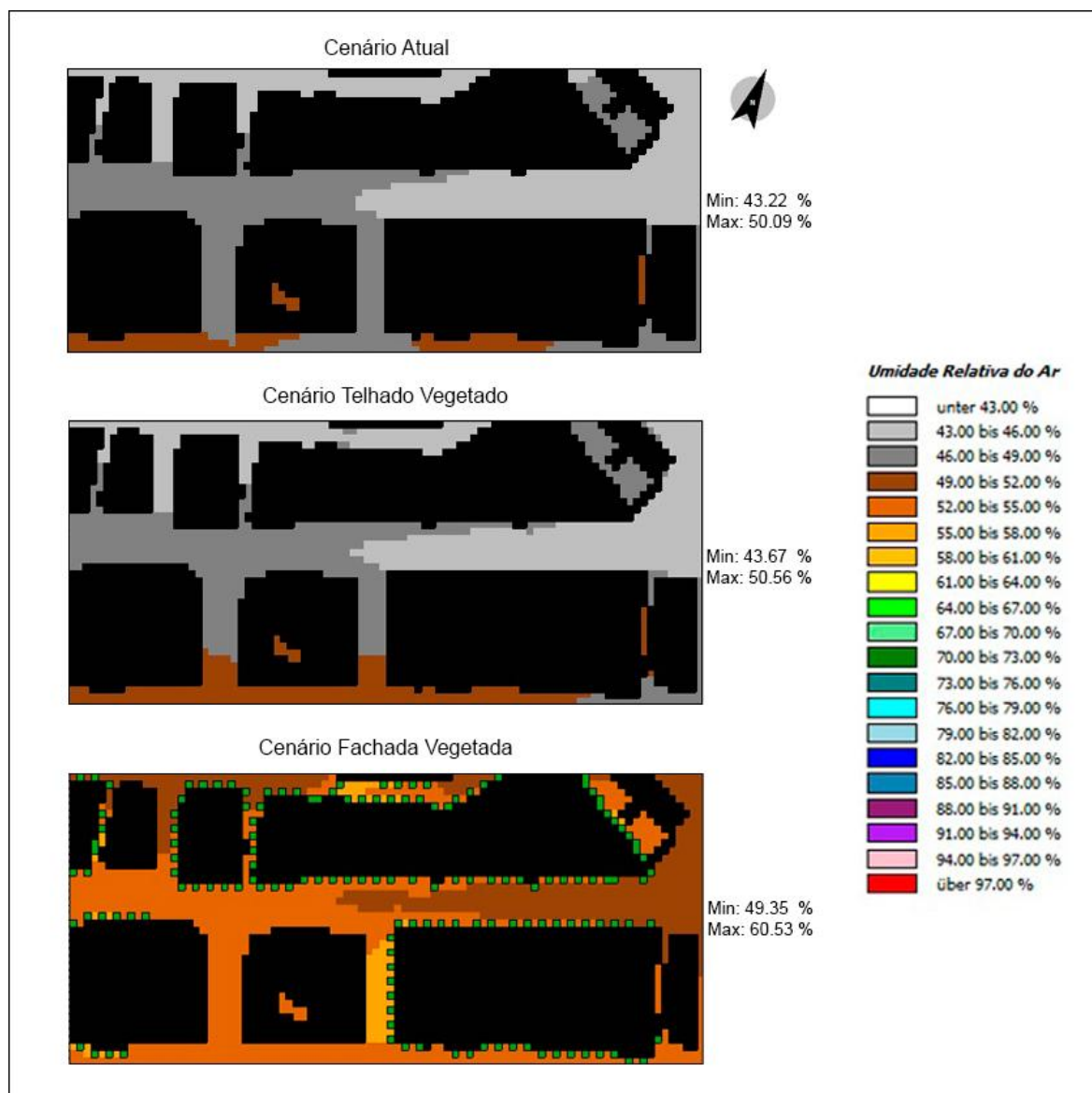


Às 9 horas, no cenário atual as variações foram de mínima de 86.57% e a máxima de 93.81%. O mapa gerado para o cenário de telhados verdes demonstrou pouca variação em relação ao mapa atual. A região, na frente dos edifícios, na área leste da imagem, teve um aumento de 88% para 91%. Provavelmente essa diferença se deve à baixa altura das edificações de até 3 pavimentos da área leste, contribuindo com a potencialidade do uso do telhado verde.

O mapa da fachada verde registrou mínima de 88.58% e a máxima de 99.39%. Com relação ao mapa referente ao cenário atual, observa-se que houve um aumento

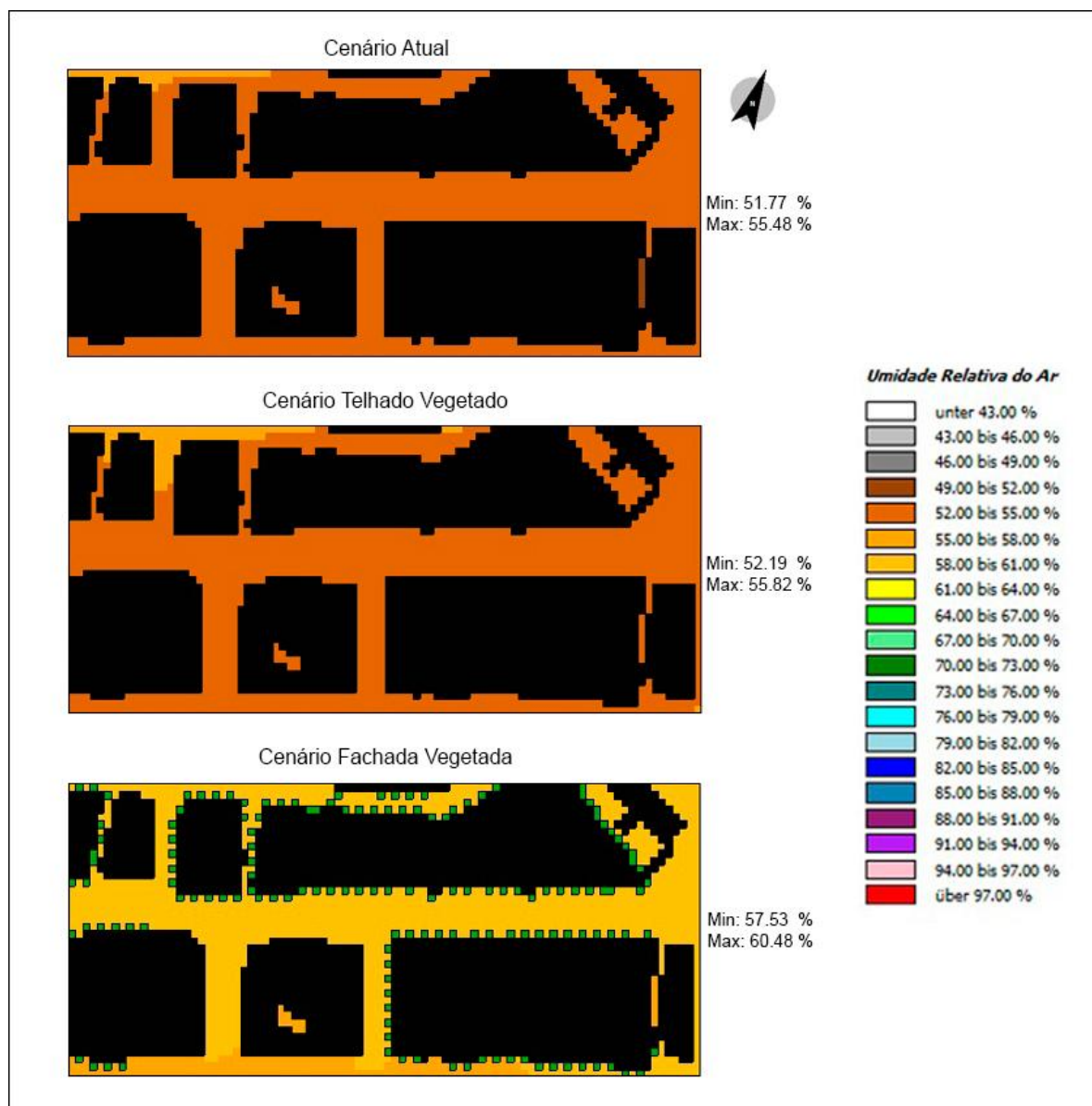
discreto da Umidade Relativa de 2,01% para a mínima, e maior aumento para a umidade relativa máxima, de 5,58%.

Figura 83: Mapa Umidade Relativa - 15 horas



Às 15 horas no cenário atual, o mapa apresentou Umidade Relativa mínima de 43.22% e a máxima de 50.09%. O cenário de telhados verdes apresentou Umidade Relativa do ar mínima de 43.67% e a máxima de 50.56%, demonstrando pequenas variações, das quais 0,44% na mínima e 0,47% na máxima. Para o cenário de fachadas verde, apresentou mínima de 49.35% e máxima de 60.53%. Em comparação com o cenário atual, a Umidade Relativa foi maior em 6,13% e a máxima em 10,44%.

Figura 84: Mapa Umidade Relativa - 19 horas



No horário das 19 horas o cenário atual apresentou mínima de 51.77% e a máxima de 55.48%. O cenário do telhado verde em relação ao cenário atual, demonstra poucas variações. A mínima de 52,19% (0,42% maior) e máxima de 55,88% (0.34% maior). O mapa de fachada verde apresentou a umidade relativa mínima de 57.53% e a máxima de 60.48%, demonstrando ser maior em 5,76% na umidade relativa mínima e em 5,00% na máxima.

### 3.3.1.3. Velocidade do ar (m/s)

O comportamento dos telhados verdes para a velocidade do vento é variável. Nos horários das 7 horas e 9 horas os valores diminuem, às 11 horas o valor da máxima aumenta, às 13 horas volta a diminuir e a partir das 15 horas a velocidade do vento aumenta novamente. Quando se analisa as diferenças em valores brutos, percebe-se que as variações são pequenas de 0,10 a 0,13 m/s.

As fachadas verdes diminuem o valor da velocidade do vento, pois criam uma rugosidade na passagem do ar, como uma barreira física ao vento. Essas interferências são maiores no período da tarde, com variações de -34,11% a -41,22% (Tabela 12 e Figura 85).

Tabela 12 - Tabela Comparativa de Velocidade do Vento

PLANILHA COMPARATIVA - VELOCIDADE DO VENTO										
VALORES ABSOLUTOS ( m/s)					DIFERENÇA ABSOLUTA (m/s)		DIFERENÇA PERCENTUAL (%)		MÉDIA PERCENTUAL (%)	
HORÁRIOS		CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE
7h	Min.	0,03	0,02	0,06	-0,01	0,03	-33%	100%	-15,70%	49,35%
	Máx.	6,18	6,3	6,1	0,12	-0,08	2%	-1%		
9 h	Min.	0,02	0,01	0,04	-0,01	0,02	-50%	100%	-24,09%	48,68%
	Máx.	6,07	6,18	5,91	0,11	-0,16	2%	-3%		
11h	Min.	0,05	0,06	0,02	0,01	-0,03	20%	-60%	10,94%	-30,86%
	Máx.	6,4	6,52	6,29	0,12	-0,11	2%	-2%		
13 h	Min.	0,06	0,05	0,02	-0,01	-0,04	-17%	-67%	-7,40%	-34,11%
	Máx.	6,4	6,52	6,3	0,12	-0,10	2%	-2%		
15 h	Min.	0,05	0,06	0,01	0,01	-0,04	20%	-80%	10,93%	-41,01%
	Máx.	6,43	6,55	6,3	0,12	-0,13	2%	-2%		
17h	Min.	0,05	0,05	0,01	0,00	-0,04	0%	-80%	0,99%	-41,22%
	Máx.	6,55	6,68	6,39	0,13	-0,16	2%	-2%		
19 h	Min.	0,04	0,04	0,02	0,00	-0,02	0%	-50%	0,82%	-28,26%
	Máx.	6,74	6,85	6,3	0,11	-0,44	2%	-7%		
21 h	Min.	0,04	0,04	0,03	0,00	-0,01	0%	-25%	0,74%	-17,61%
	Máx.	6,75	6,85	6,16	0,10	-0,69	1%	-10%		

Figura 85 - Gráfico de Diferença média Percentual de Velocidade do vento para um dia típico de verão.

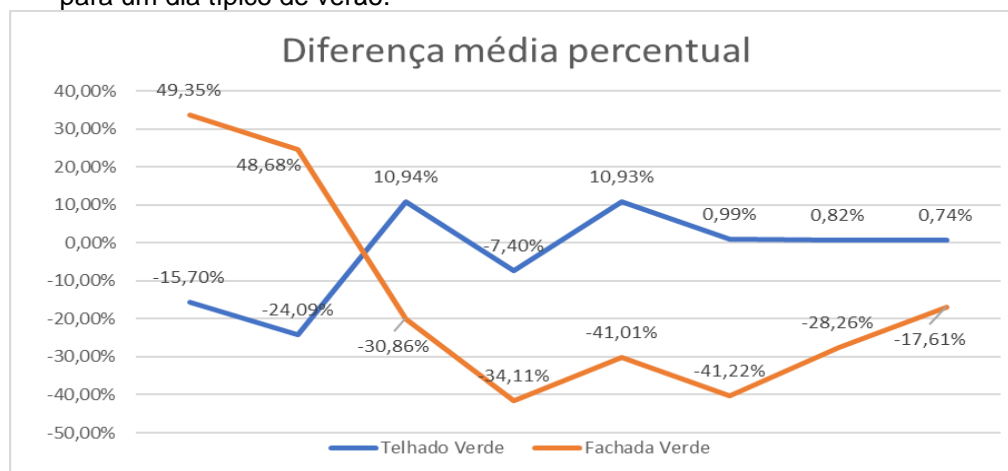
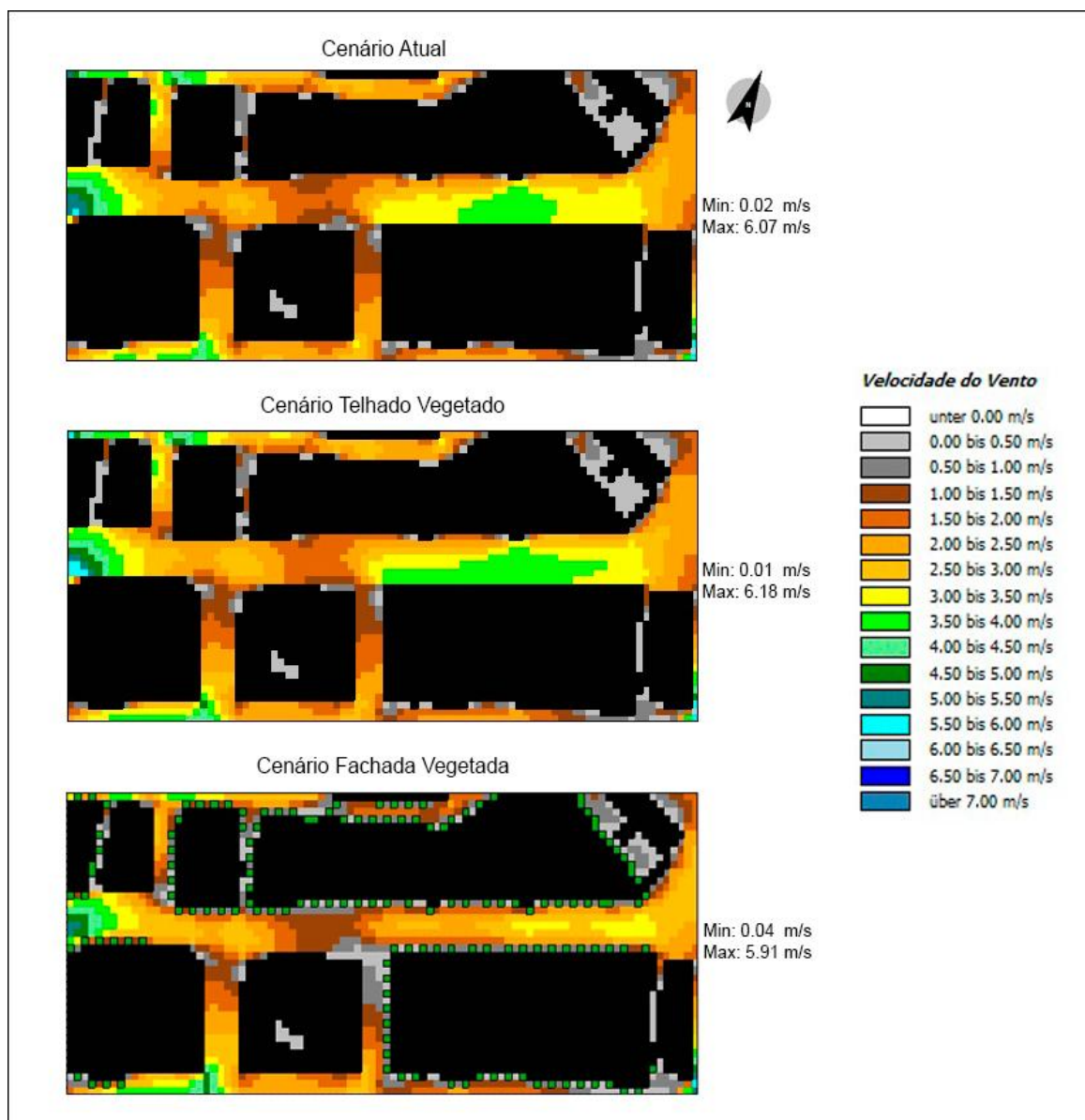




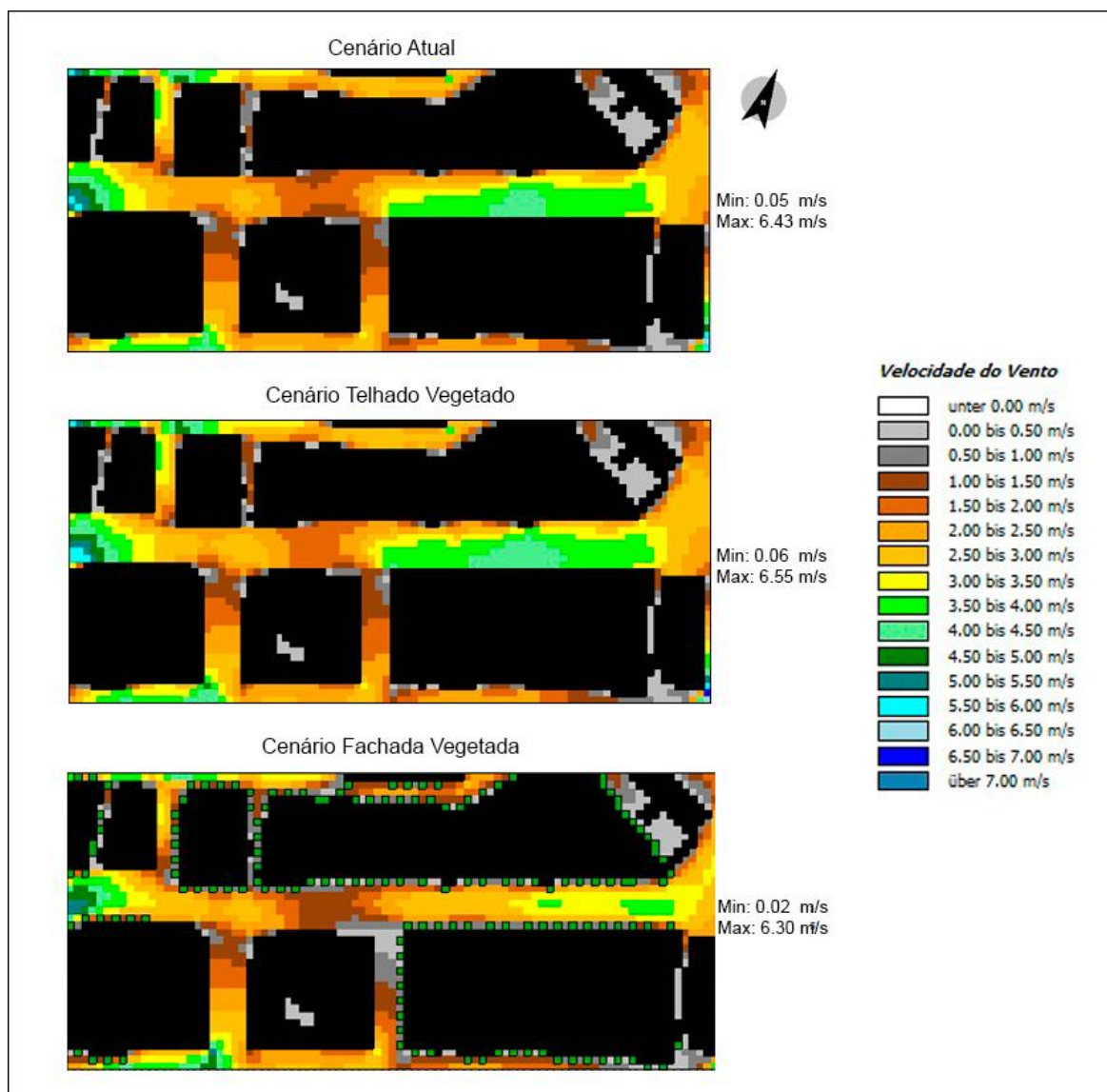
Figura 86: Mapa velocidade de vento - 9 horas



Às 9 horas, a velocidade do vento para o cenário atual variou entre 0.02 m/s e 6.07 m/s. O cenário com telhado verde mostra a velocidade do vento entre 0.01m/s a 6.18 m/s. Em comparação ao cenário atual, a velocidade do vento aumentou em torno de 3,00 para 3,5 m/s em uma pequena área localizada na zona leste do mapa. Já no cenário com fachada verde, a velocidade do vento variou entre 0.04 m/s a 5,91 m/s. Pode-se observar que, na região em frente às fachadas verdes, a velocidade do vento teve uma diminuição de 3 m/s para 0.5 m/s enquanto que, nas outras áreas sem fachada verde, a diminuição foi de apenas 0.5 m/s.

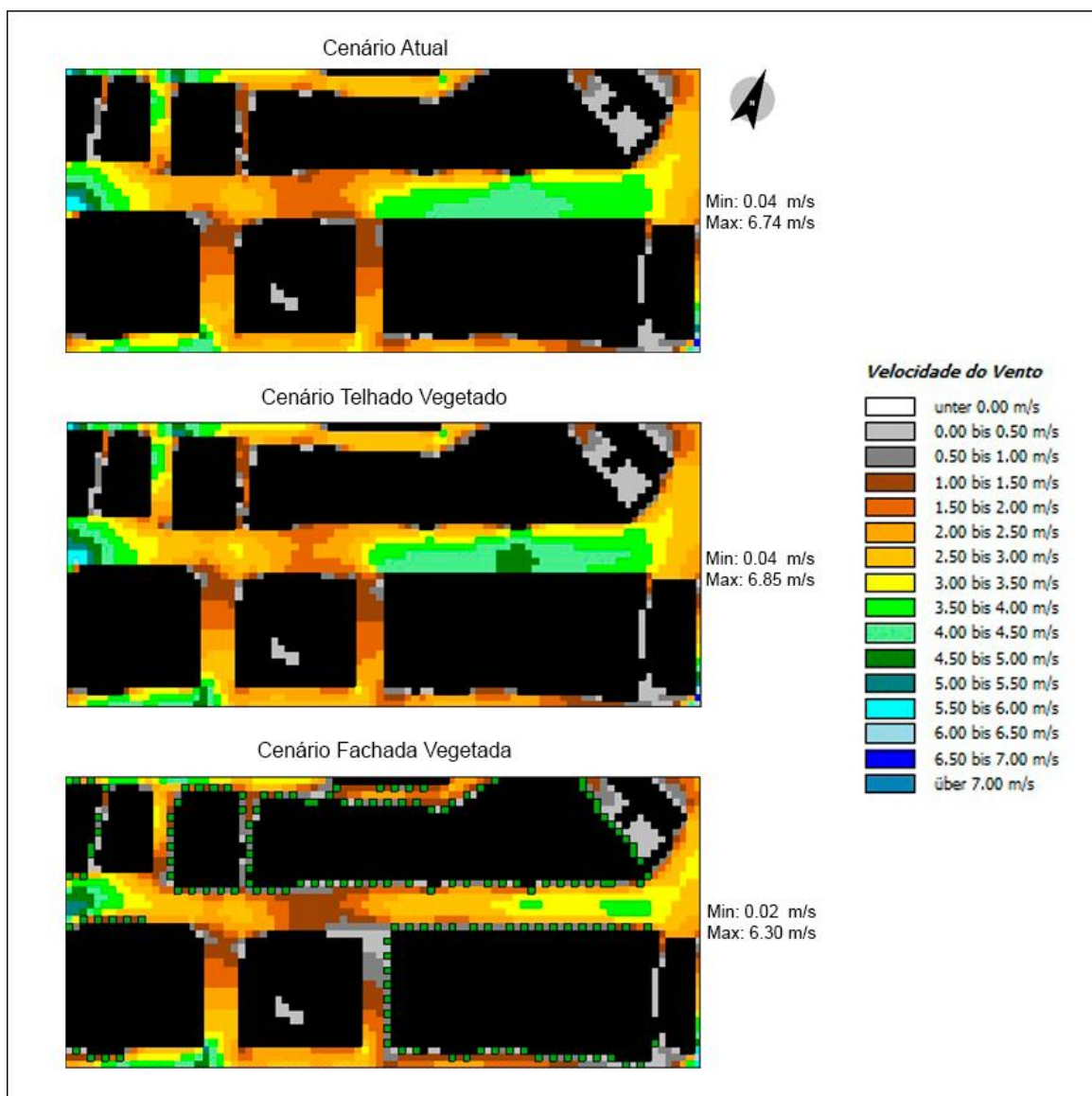


Figura 87: Mapa velocidade de vento - 15 horas



Para o cenário atual, a velocidade do vento variou entre 0.05 m/s e 6.43 m/s. No cenário com telhados verdes, a velocidade do vento variou entre 0.06m/s a 6.55m/s. Para esse cenário, não houve alterações expressivas. Já no cenário de fachadas verdes, a velocidade do vento variou entre 0.02 m/s a 6.30 m/s. Relacionando as velocidades dos mapas do cenário atual com as fachadas vegetadas, nota-se que houve alterações em toda a área do mapa, sendo mais acentuada em frente às mesmas.

Figura 88 - Mapa velocidade de vento - 19 horas



Para o cenário atual, a velocidade do vento variou entre 0.04 m/s a 6.74 m/s. A área que obteve maior velocidade foi na parte oeste do mapa, onde se situam edificações com mesma altura. No cenário de telhados verdes, a velocidade do vento variou entre 0.02 m/s a 6.30 m/s, e as maiores diferenças em relação ao cenário atual foram em locais situados em frente às edificações com vegetação com altura mais baixa de 21 metros, chegando a um aumento de 0,5 m/s. Já para o cenário de fachadas verdes, a velocidade do vento registrou mínima de 0.04 m/s e a máxima 6.85 m/s. As maiores diferenças de 3,5 m/s, foram imediatamente em frente às edificações que receberam as fachadas verdes.

### 3.3.1.4. Temperatura Radiante Média - MRT ( °C)

Os telhados verdes diminuem os índices de temperatura média radiante (MRT) ao longo do dia, sendo mais expressivo nos horários das 9 h, 15 h, 17h e 19 horas, variando de -0,57 % a -0,74%. Para as fachadas verdes, a diminuição do índice se comporta como uma curva, de máxima de -15,79 %, no horário das 13 horas (Tabela 13 e Figura 89).

Tabela 13- Tabela Comparativa de MRT

PLANILHA COMPARATIVA - MRT									
VALORES ABSOLUTOS ( °C)				DIFERENÇA ABSOLUTA ( °C )		DIFERENÇA PERCENTUAL (%)		MÉDIA PERCENTUAL (%)	
HORÁRIOS	CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE
7h	Min.	20,95	20,65	17,59	-0,30	-3,36	-1,43%	-16,04%	-0,73%
	Máx.	48,55	48,54	47,64	-0,01	-0,91	-0,02%	-1,87%	-8,96%
9 h	Min.	32,36	31,96	25,58	-0,40	-6,78	-1,24%	-20,95%	-0,74%
	Máx.	60,89	60,74	58,15	-0,15	-2,74	0%	-4%	-12,73%
11h	Min.	38,13	37,87	29,28	-0,26	-8,85	-0,68%	-23,21%	-0,47%
	Máx.	57,93	57,78	54,17	-0,15	-3,76	-0,26%	-6,49%	-14,85%
13 h	Min.	41,76	41,49	31,12	-0,27	-10,64	-0,65%	-25,48%	-0,45%
	Máx.	64,6	64,43	60,66	-0,17	-3,94	-0,26%	-6,10%	-15,79%
15 h	Min.	40,8	40,38	31	-0,42	-9,80	-1,03%	-24,02%	-0,64%
	Máx.	69,75	69,58	66,13	-0,17	-3,62	-0,24%	-5,19%	-14,60%
17h	Min.	33,29	32,98	28,31	-0,31	-4,98	-0,93%	-14,96%	-0,73%
	Máx.	55,2	54,91	52,29	-0,29	-2,91	-0,53%	-5,27%	-10,12%
19 h	Min.	23,49	23,39	22,1	-0,10	-1,39	-0,43%	-5,92%	-0,57%
	Máx.	24,99	24,81	25,33	-0,18	0,34	-0,72%	1,36%	-2,28%
21 h	Min.	22,26	22,18	21,11	-0,08	-1,15	-0,36%	-5,17%	-0,43%
	Máx.	23,52	23,4	24,49	-0,12	1,09	-1%	5%	-0,27%

Figura 89: Gráfico de Diferença média Percentual de MRT para um dia típico de verão.

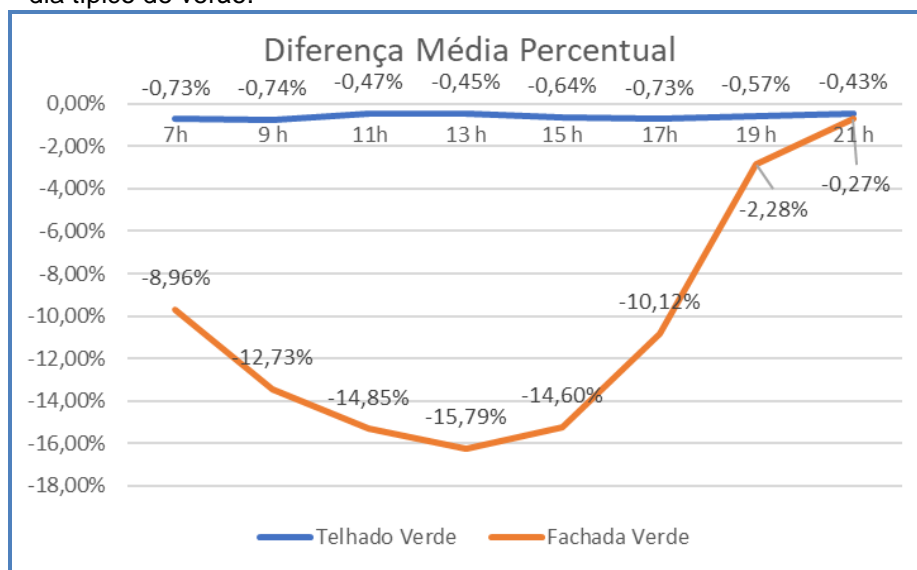
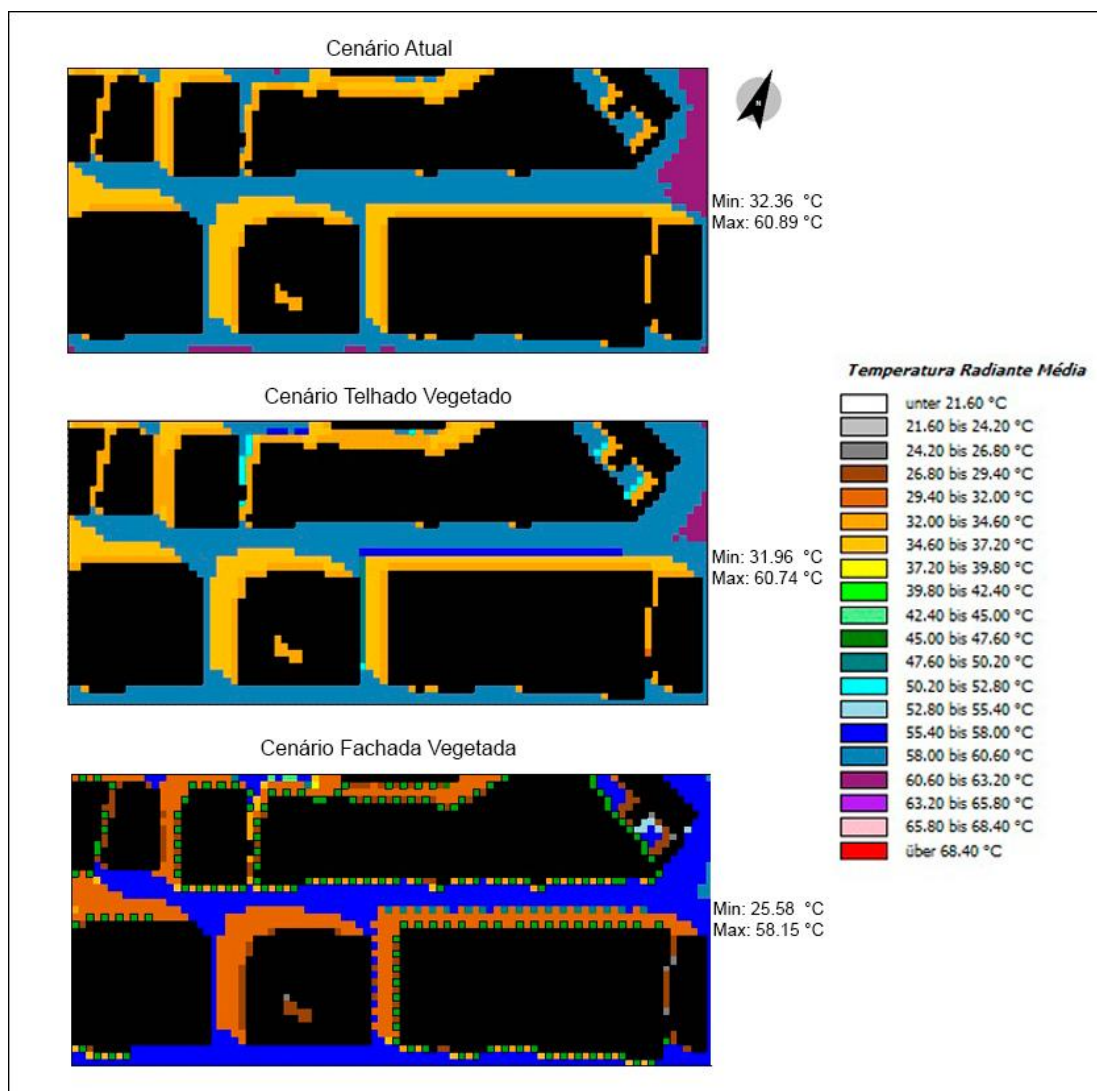


Figura 90 - Mapa de Temperatura Média Radiante - 9 horas



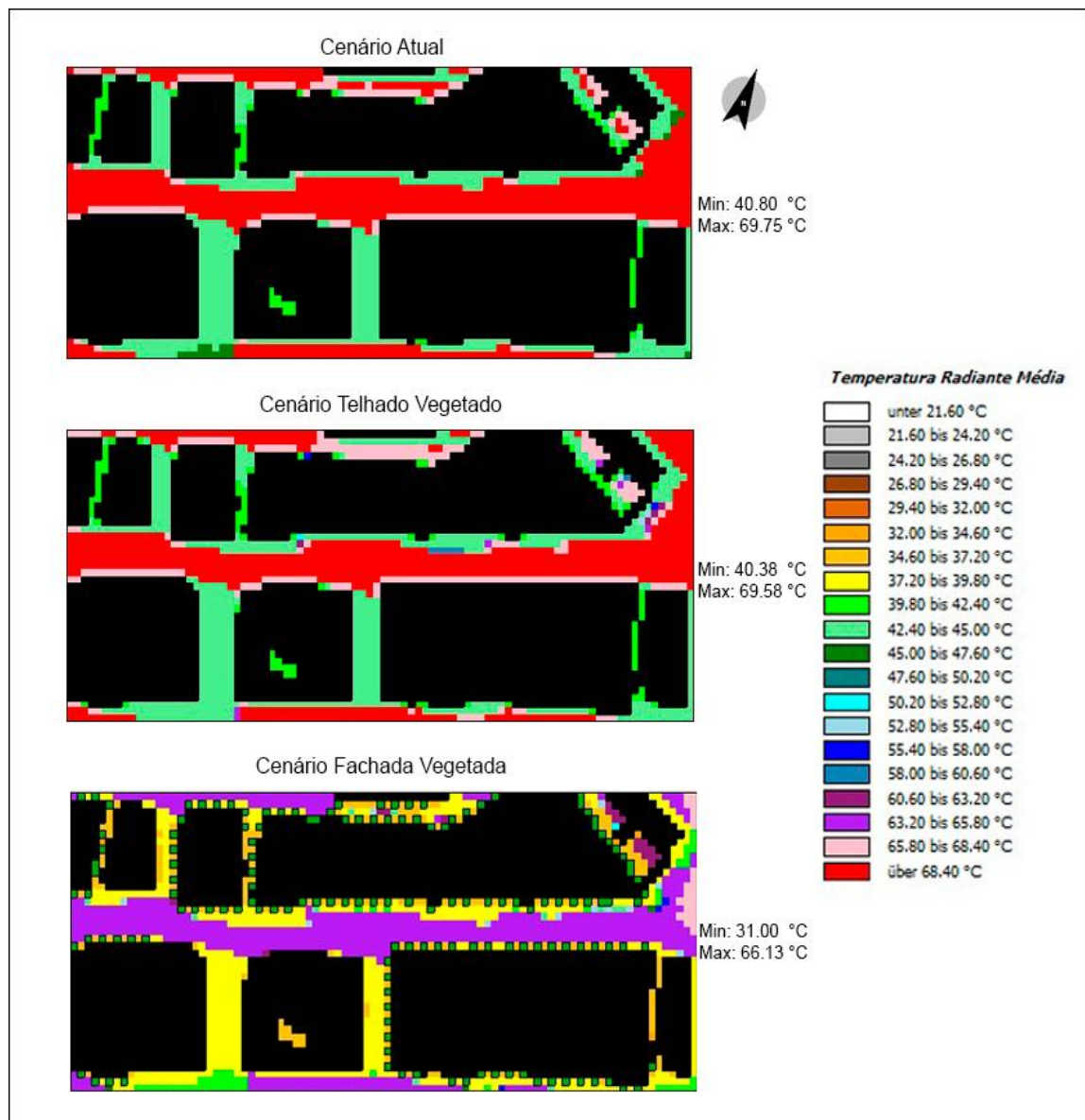
Às 9 horas, o cenário atual apresenta o índice de Temperatura Média Radiante (MRT), que é “a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme” entre 34.60°C a 37.20°C nas regiões próximas as edificações com sombreamento das 9 horas. Já nas vias, variou entre 58.0°C a 60.6°C. A mínima registrada foi de 32.36°C e a máxima de 60.89°C. Para o cenário de telhado verde, o índice MRT se encontra entre 32.40°C a 37.20°C, entretanto, nas vias, variou entre 58.0°C a 60.6 °C. A mínima é 31,96 °C e a máxima 60,74 °C. Não houve significativas mudanças em relação ao cenário atual. Porém, nas temperaturas máximas e mínimas, houve alteração de -0,15 °C na máxima e - 0.4°C para a mínima. Pode-se observar pelo mapa que um trecho, na frente das edificações representada por uma mancha retangular “azul escuro”,



demonstrou uma diminuição de 58 °C para 55.4°C, ou seja 2,6 ° C. Para o cenário da fachada verde, o índice MRT se encontra entre 29.40°C a 32.0°C, próximo às edificações, entretanto, nas vias, varia entre 55.40°C a 58.0°C. A mínima é 25.58°C e a máxima 58.15°C. Em comparação com o cenário atual, houve diminuição de 5°C ao redor das edificações e de 2.60°C nas vias.

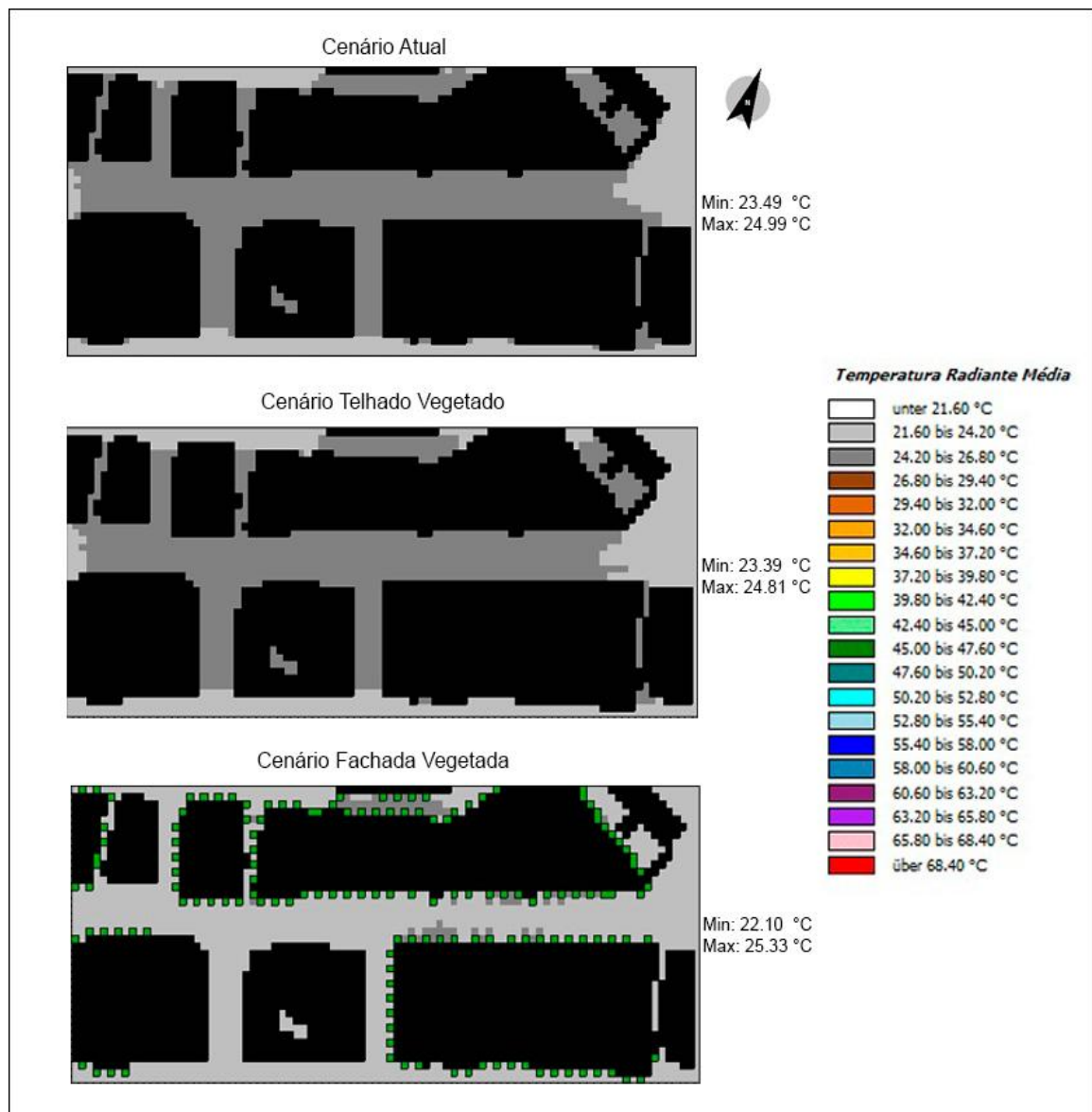
Esses resultados mostram que quanto mais próximo às fachadas verdes, maior a influência no MRT. A diferença entre o índice no mesmo cenário deve-se provavelmente pela diferença entre os valores dos elementos climáticos para a área com sombreamento dos edifícios às 9 horas e os valores na Avenida principal.

Figura 91 - Mapa de Temperatura Média Radiante - 15 horas



Às 15 horas, o cenário atual mostra próximo às edificações, o MRT entre 42.40°C a 45.0°C, entretanto, na Avenida principal, o índice apresenta 68.40°C. A mínima é 40.80°C e a máxima 69.75°C. Para o cenário com telhado verde, os resultados evidenciam o mesmo padrão, sendo a mínima de 40,38°C e máxima de 69,58°C, demonstrando uma diferença de 0.5°C na temperatura máxima e mínima com relação ao cenário atual. No cenário com fachada verde o MRT varia de 37.20°C a 39.80°C, representado pelas áreas em “amarelo”. Na Avenida principal, o MRT também teve uma diminuição de 68.4°C para 63.20°C. Pode-se perceber que houve uma diminuição dos valores de 5.20°C em toda região.

Figura 92 - Mapa de Temperatura Média Radiante - 19 horas



Para o cenário atual, o MRT varia, entre 23.49°C e 24.99°C. Para o cenário com telhado verde, o MRT apresentou mínima de 23,39°C e máxima de 24,81, com diminuição de cerca de 0.10°C apenas em relação ao cenário atual. O índice na fachada verde variou entre 22,10°C a 25,33°C, demonstrando uma diminuição de 2,6°C praticamente em toda a área simulada, com relação ao cenário atual.

### 3.3.1.5. Voto Médio Estimado- PMV

As maiores contribuições para a melhoria do índice PMV sobre a influência do telhado verde foram às 7 horas da manhã com valor de -17,22% e no período posterior às 17 horas, com variações de -1,16% a -1,24%. Porém quando se analisa os valores brutos de diferença, observa-se valores bem baixos de média de -0,01 na escala de ASHRAE. Já para o cenário das fachadas verdes, os maiores valores são nos horários das 09 horas, 15 horas e 19 horas. Com diminuições de -12, 37 % a -23,40%. A média para os valores brutos foi de -0,5 na escala de ASHRAE, representando grande influência na escala de sensações (Tabela14 e Figura 93).

Tabela 14- Tabela Comparativa de PMV

PLANILHA COMPARATIVA - PMV										
		VALORES ABSOLUTOS			DIFERENÇAS ABSOLUTAS		DIFERENÇA PERCENTUAL ( %)		MÉDIA PERCENTUAL	
HORÁRIOS		CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE
7 h	Min.	-0,06	-0,08	-0,06	-0,02	0,00	-33%	0%	-17,22%	-17,22%
	Máx.	1,8	1,78	1,18	-0,02	-0,62	-1%	-34%		
9 h	Min.	2,04	2,05	1,45	0,01	-0,59	0%	-29%	0,25%	-23,40%
	Máx.	4,14	4,14	3,4	0,00	-0,74	0%	-18%		
11h	Min.	2,77	2,8	2,18	0,03	-0,59	1%	-21%	0,66%	-16,64%
	Máx.	4,34	4,35	3,82	0,01	-0,52	0%	-12%		
13 h	Min.	3,19	3,18	2,34	-0,01	-0,85	0%	-27%	-0,26%	-19,72%
	Máx.	5	4,99	4,36	-0,01	-0,64	0%	-13%		
15 h	Min.	3,17	3,14	2,31	-0,03	-0,86	-1%	-27%	-0,65%	-20,93%
	Máx.	5,57	5,55	4,75	-0,02	-0,82	0%	-15%		
17h	Min.	2,38	2,36	1,9	-0,02	-0,48	-1%	-20%	-1,16%	-16,47%
	Máx.	4,07	4,01	3,55	-0,06	-0,52	-1%	-13%		
19 h	Min.	1,31	1,3	1,09	-0,01	-0,22	-1%	-17%	-1,04%	-12,37%
	Máx.	1,51	1,49	1,39	-0,02	-0,12	-1%	-8%		
21 h	Min.	1,05	1,04	0,87	-0,01	-0,18	-1%	-17%	-1,24%	-11,62%
	Máx.	1,31	1,29	1,23	-0,02	-0,08	-2%	-6%		



Figura 93 - Gráfico de Diferença média Percentual de PMV para um dia típico de verão.

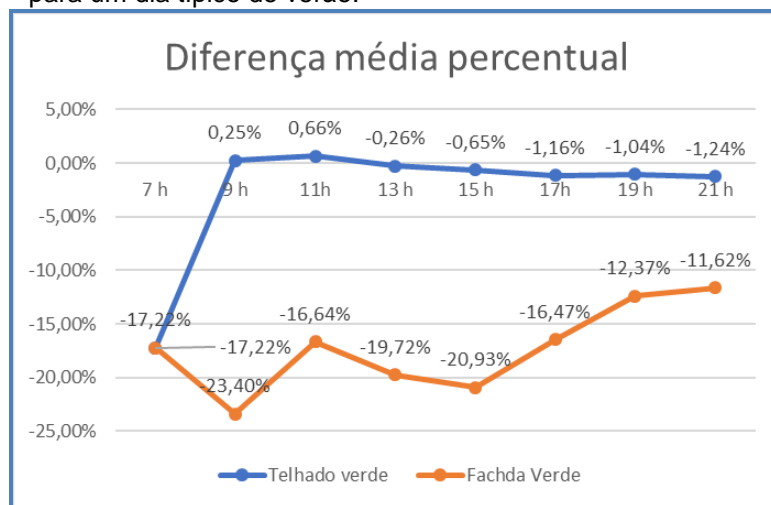
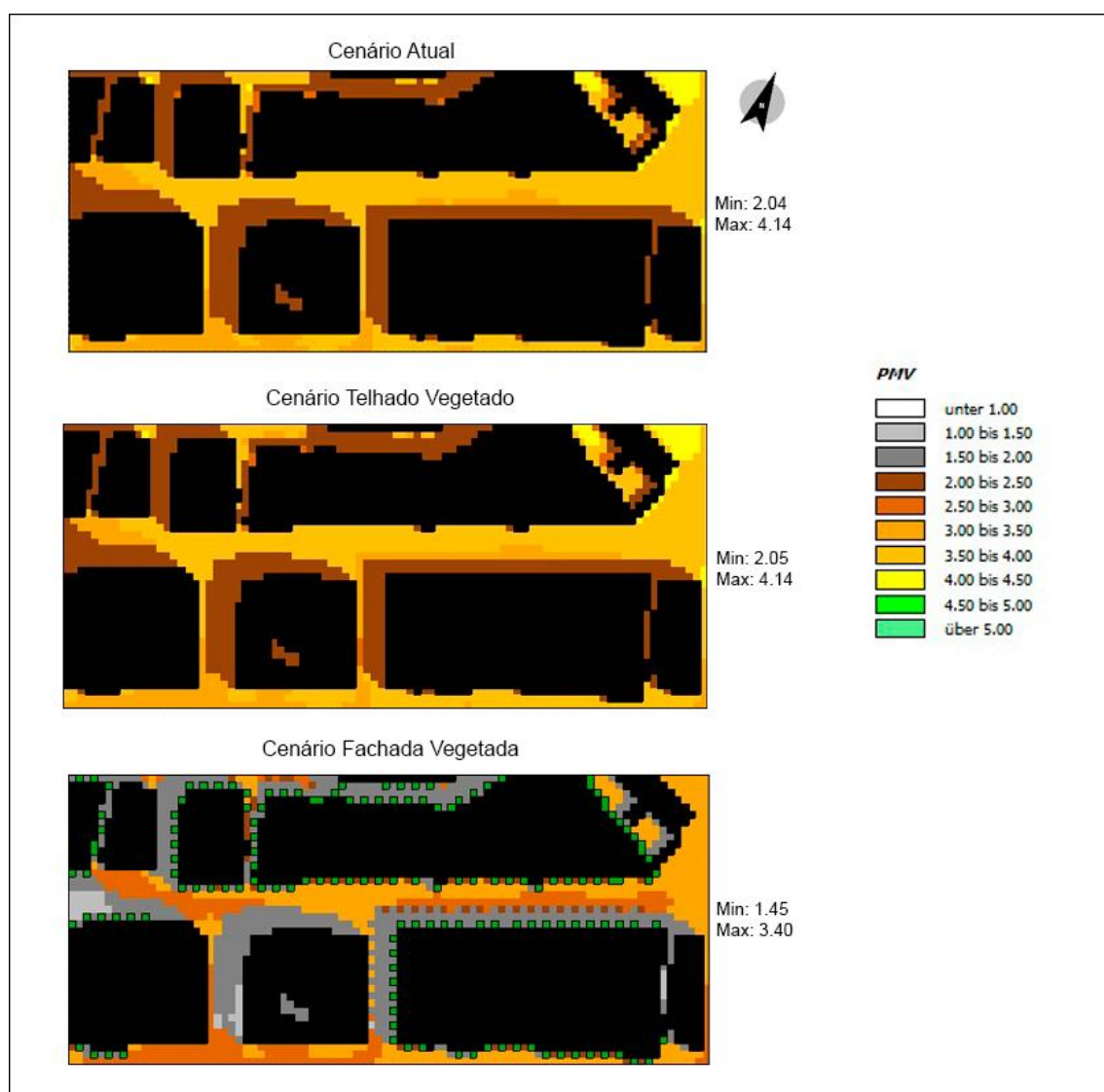
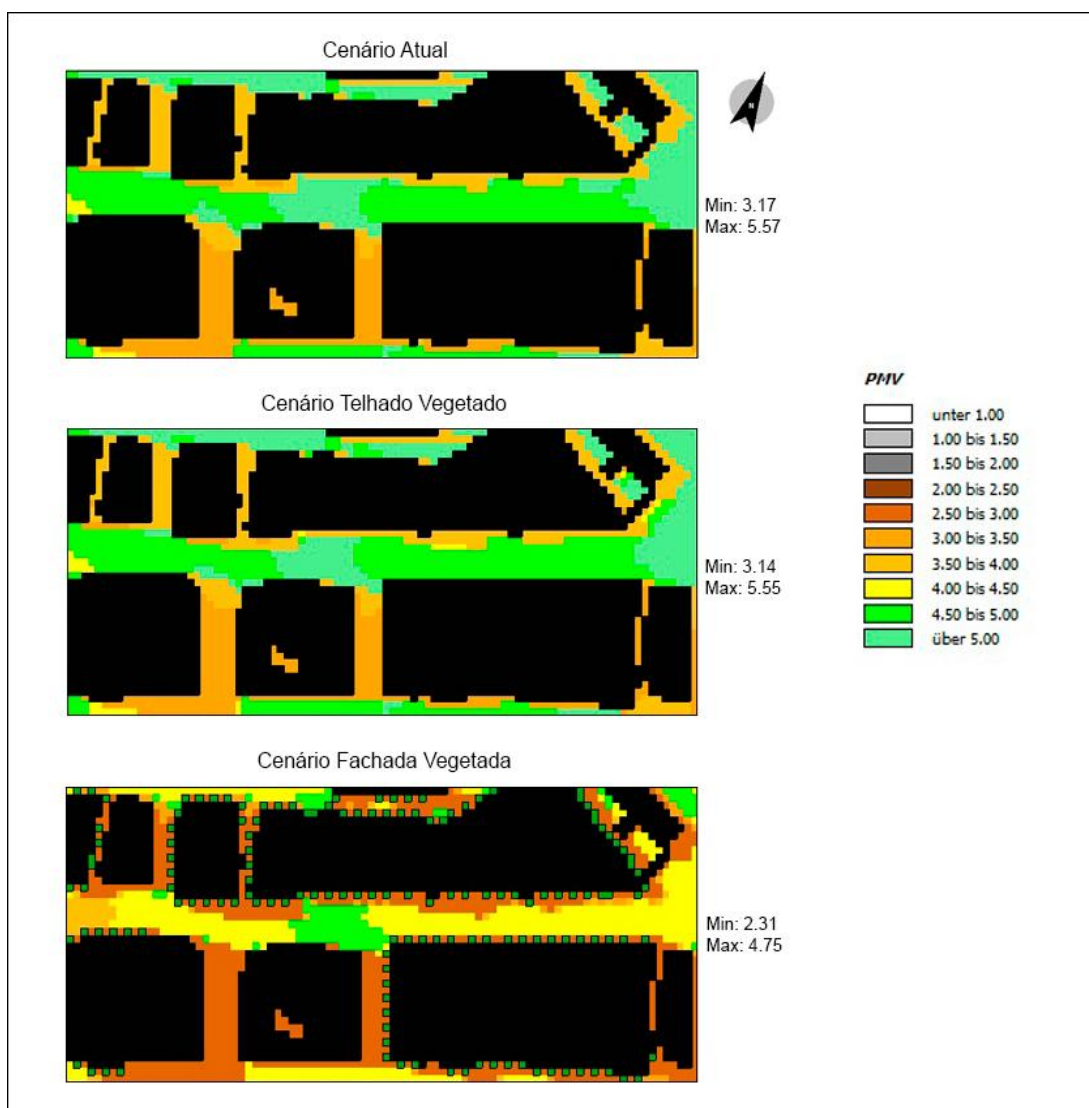


Figura 94: Mapa PMV - 9 horas



O índice PMV que “prevê o valor médio de um grande grupo de pessoas, segundo uma escala de sensações de 7 pontos.” (LAMBERTS; XAVIER, 2008) do cenário atual, às 9 horas, variou de 2.04 a 4,14, variando de quente a muito quente, pela Escala de Fanger. Os resultados obtidos no mapa do cenário telhado vegetado, mostram valores de mínimo de 2.05 e máximo de 4,14. No cenário da fachada verde, às 9 horas, o índice PMV, referente ao cenário de fachada vegetada, estava entre 1.0 e 1.5 nas áreas próximas às edificações. Ou seja, a área estava levemente quente. As simulações às 9 horas mostraram que não houve alteração relevante do cenário atual para o de telhado verde. Porém, a fachada verde mostrou uma redução pela metade na Escala Fanger, demonstrando melhoria na sensação térmica.

Figura 95 - Mapa PMV - 15 horas



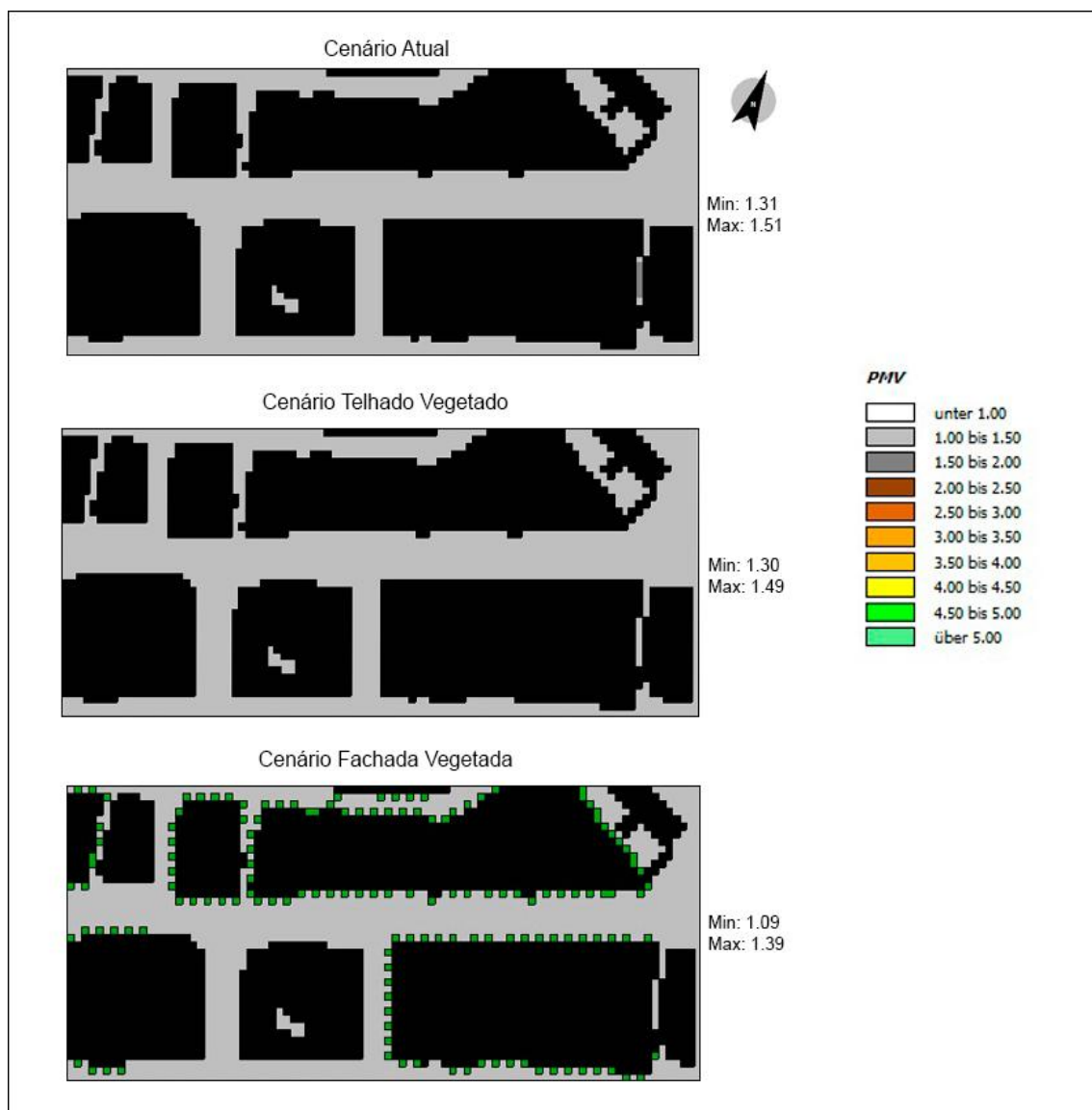
Às 15 horas, os valores de índice de Voto Médio Estimado (PMV), para a máxima foi de 5,57 e para a mínima foi de 3,17, na simulação do cenário atual. Os índices estiveram entre 4.5 e acima de 5.0 na Av. Jerônimo Monteiro, e de 3.17 a 4.0 em torno das edificações localizadas em toda a área. Nota-se que, levando-se em consideração os estudos de Fanger (1972), a sensação térmica do local estaria acima de 3 na escala, ou seja, acima de “muito quente”.

Para o cenário dos telhados verdes, o PMV variou entre 3.14 para a mínima e 5,55 para a máxima, e nas áreas de projeção das edificações para o horário das 15 horas, o índice foi de 3,14 a 4. Nas demais áreas, como a Avenida principal o índice foi de até 5.55, demonstrando assim, a influência do tipo de material de revestimento da pavimentação no conforto térmico.

Em frente às fachadas vegetadas, os valores do índice PMV variaram de 2.31 a 2.50, valores estes que demonstram que a área está “quente” para os transeuntes. Em contraponto, na via central, os resultados obtidos estiveram de 4.0 a 5.0. A área em amarelo representa, na escala ASHRAE, a sensação térmica “muito quente”. Portanto, pode-se notar que a presença da vegetação atenua a sensação térmica em até 2 pontos.

Relacionando os mapas, pode-se observar que não houve alteração dos índices entre o cenário atual e o cenário com telhado vegetado, já que praticamente não houve alteração das “manchas” cromáticas representativas dos resultados do índice PMV. No entanto, no mapa do cenário das paredes verdes, as “manchas” de cor variaram em todo o mapa, sinalizando a influência das paredes com vegetação no conforto térmico no nível do pedestre.

Figura 96: Mapa PMV - 19 horas



Às 19 horas, o índice PMV esteve entre 1.0 e 1.50 na escala de Fanger (1972). Ou seja, a área, nesse horário, pode ser considerada “levemente quente”.

Avaliando os resultados obtidos pela simulação do cenário de telhados verdes e fachadas vegetadas, os índices PMV apresentaram a mesma classificação: “levemente quente” que do cenário atual, porém diminuíram as mínimas e máximas em 0,01 e 0,02 e 0,22 e 0,12 respectivamente.

Cabe salientar que mesmo à noite, as 19 horas a sensação térmica na área estudada ainda gerava desconforto térmico.

### 3.3.1.6. Índice de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas- PPD

Os valores do PPD tiveram uma influência dos telhados verdes, para o aumento do valor nos horários das 9, 11 horas. Nos outros horários houve a diminuição do índice, sendo mais significativo no horário a partir das 15 horas. Já para a fachada verde, teve uma redução maior nos horários de início e término do dia (7 e 9 horas e 19 e 21 horas) de até 24,53% (Tabela 15 e Figura 97).

Tabela 15- Tabela Comparativa de Velocidade de PPD

PLANILHA COMPARATIVA - PPD									
VALORES ABSOLUTOS (%)					DIFERENÇAS ABSOLUTAS (%)		DIFERENÇA PERCENTUAL (%)		MÉDIA PERCENTUAL (%)
HORÁRIOS	CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE		CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	CENÁRIO TELHADO VERDE	CENÁRIO FACHADA VERDE	
7h	Min.	5	5	5	0,00	0,00	0%	0%	-0,07%
	Máx.	66,91	66,81	34,09	-0,10	-32,82	0%	-49%	
9 h	Min.	78,75	79,13	48,01	0,38	-30,74	0%	-39%	0,24%
	Máx.	100	100	99,91	0,00	-0,09	0%	0%	
11h	Min.	97,5	97,81	84,13	0,31	-13,37	0%	-14%	0,16%
	Máx.	100	100	100	0,00	0,00	0%	0%	
13 h	Min.	99,69	99,65	89,51	-0,04	-10,18	0%	-10%	-0,02%
	Máx.	100	100	100	0,00	0,00	0%	0%	
15 h	Min.	99,64	99,58	88,7	-0,06	-10,94	0%	-11%	-0,03%
	Máx.	100	100	100	0,00	0,00	0%	0%	
17h	Min.	90,68	90,06	71,96	-0,62	-18,72	-1%	-21%	-0,34%
	Máx.	100	100	99,76	0,00	-0,24	0%	0%	
19 h	Min.	40,91	40,32	30,23	-0,59	-10,68	-1%	-26%	-1,78%
	Máx.	51,47	50,38	44,91	-1,09	-6,56	-2%	-13%	
21 h	Min.	28,25	27,75	21,16	-0,50	-7,09	-2%	-25%	-2,01%
	Máx.	40,54	39,63	36,97	-0,91	-3,57	-2%	-9%	

Figura 97 - Gráfico da Diferença média Percentual de PPD para um dia típico de verão.

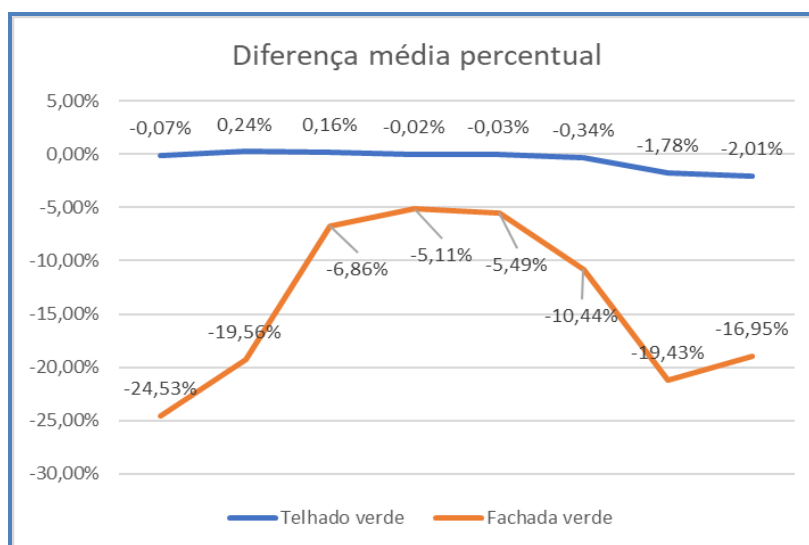
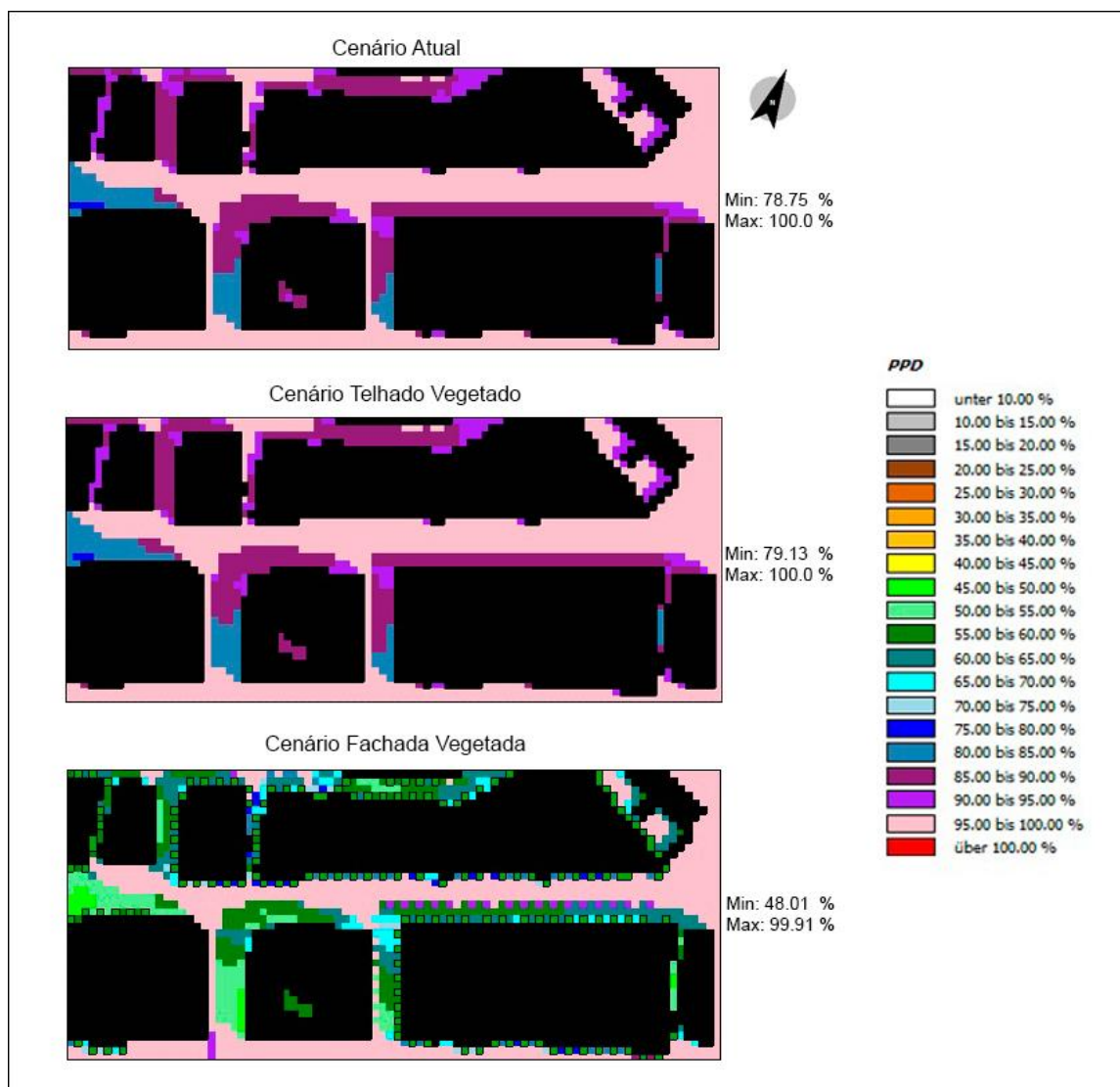


Figura 98 - Mapa PPD - 9 horas

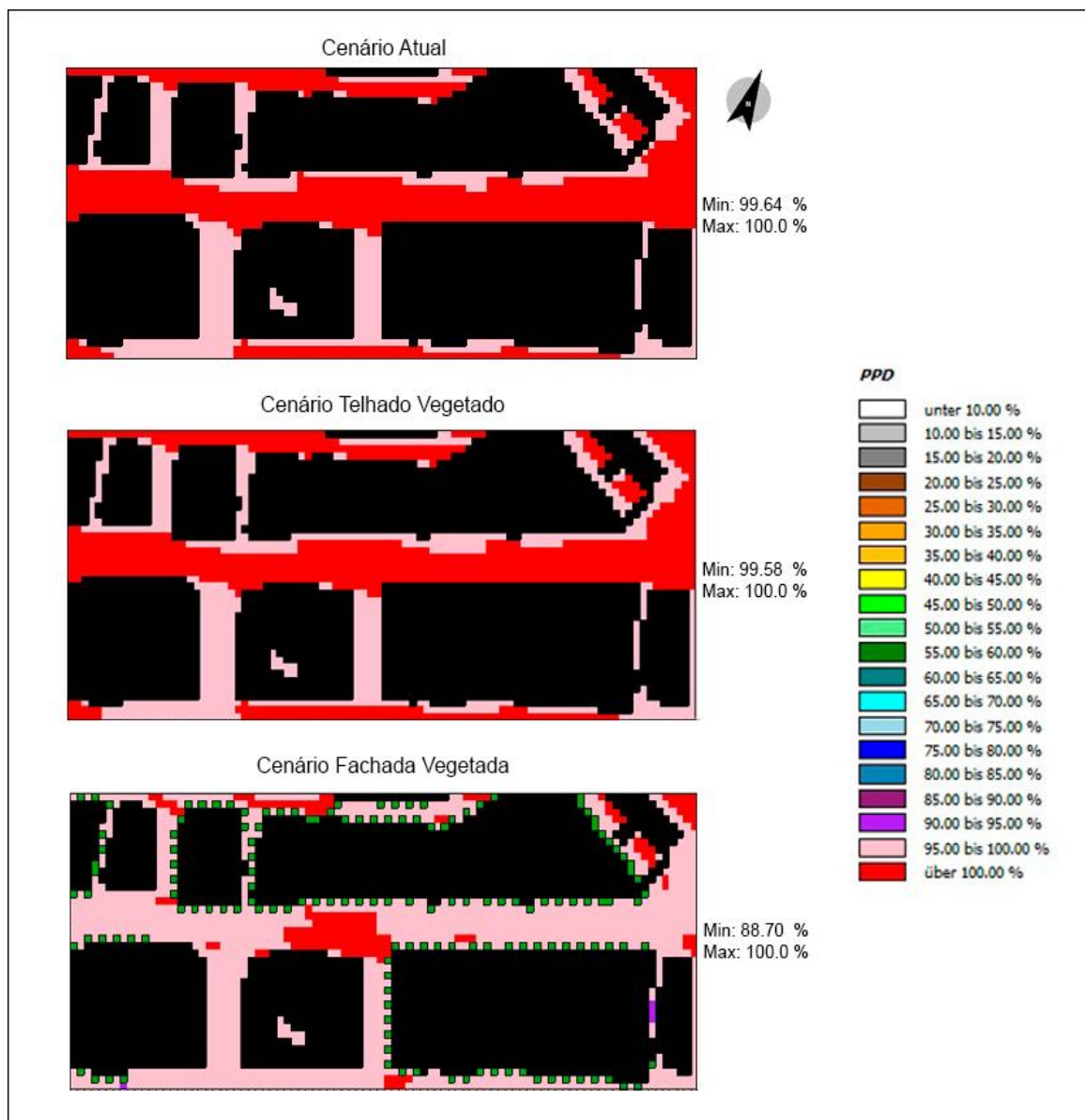


O índice PPD (índice da percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente) do cenário atual ficou entre 80% e 95% na calçada junto aos prédios. Nas demais áreas, predominou PPD entre de 95% e 100%. No cenário de telhados verde, o índice variou da mesma forma que o cenário atual.

O índice PPD do cenário com fachada vegetada, às 9 horas, ficou entre 45% e 65% na calçada. Nas demais áreas, o PPD registrou 95% e 100%. Nota-se que houve diminuição no índice, principalmente, em frente às fachadas vegetadas, de 30%. Entretanto, na avenida principal, manteve-se o valor. Verifica-se que existe uma limitação da influência da vegetação em relação à distância em que ela se encontra.



Figura 99 - Mapa PPD - 15 horas

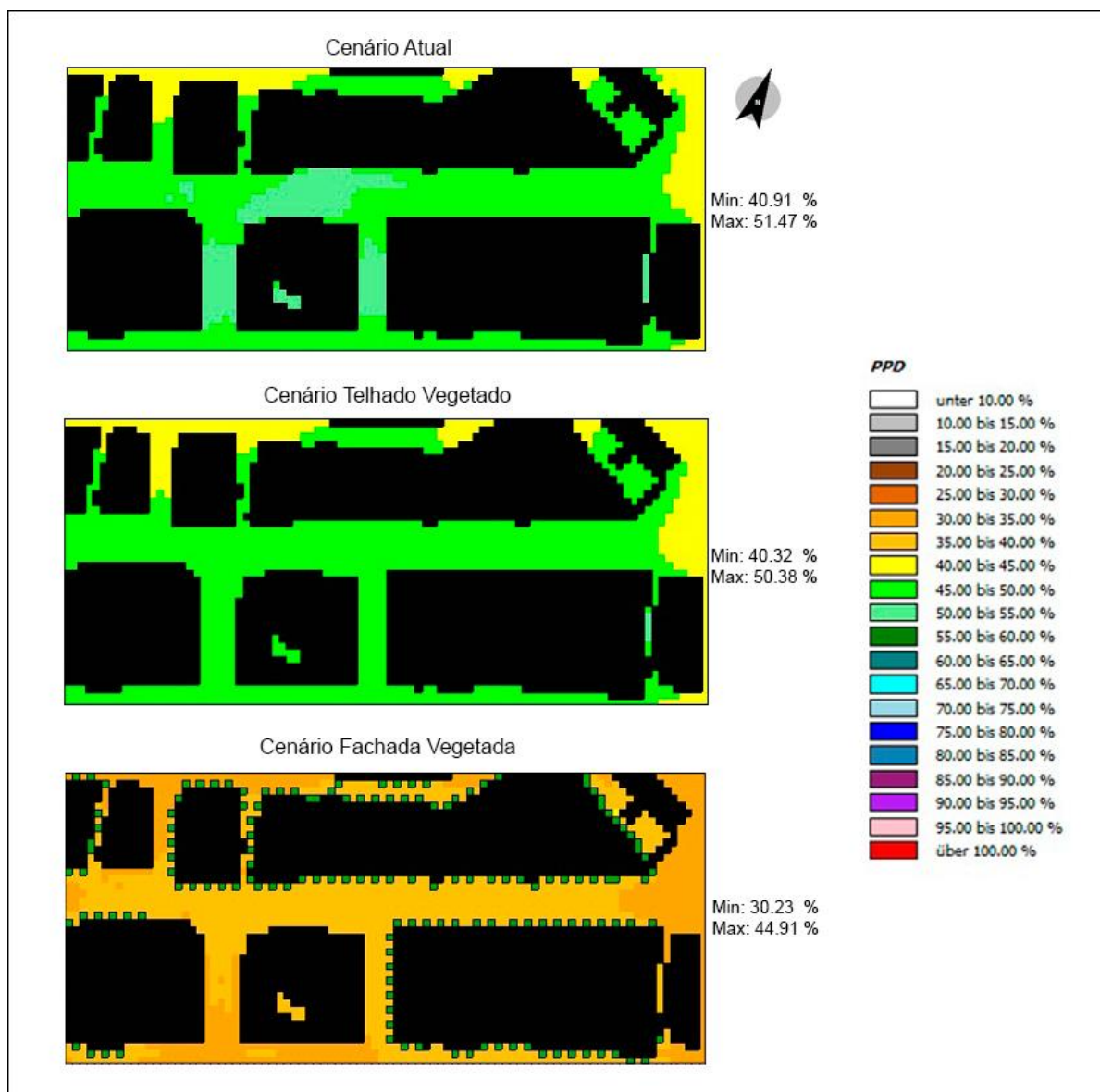


Às 15 horas, o índice PPD do cenário atual, às 15 horas, registrou 100% na Avenida principal, sendo que, na calçada junto aos prédios situados na parte norte e nas ruas laterais, predominou PPD de 99,64% a 99%.

O índice PPD do cenário telhado vegetado, às 15 horas, o PPD apresentou 100% na Avenida principal e nas demais áreas variou de 99,58% e 99%. Não houve alterações no índice em relação ao cenário atual. Para o cenário com fachadas verdes, o índice variou de 88,70% a 100%. Os maiores valores e a maior abrangência se situaram na região em frente à uma edificação que não recebeu a técnica.



Figura 100 - Mapa PPD - 19 horas



Às 19 horas, o índice PPD do cenário atual, ficou entre de 40,91% e 51,47% em toda a área simulada. Para o cenário dos telhados verdes o índice PPD variou entre de 40,32% a 50,48%. Pode-se observar uma pequena diminuição na área demarcada de 5%. O índice PPD do cenário fachada vegetada, variou entre de 30,23% a 44,91% em toda a região. Houve uma diminuição 10,68 % para a o índice mínimo e 6,56 % para a máxima em relação ao cenário atual.

No item a seguir são apresentadas as conclusões gerais a partir das análises realizadas em conjunto com os mapas e os gráficos.

### 3.4. CONCLUSÕES A PARTIR DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta as conclusões a partir das análises dos mapas gerados pelas simulações no software ENVI-met. As observações e comparações foram realizadas com o objetivo de extrair as sínteses conclusivas sobre os efeitos das paredes e telhados verdes nos elementos climáticos e nos índices de conforto térmico. Convém salientar que essas conclusões sobre a influência de paredes verdes e de telhados verdes dizem respeito à área simulada, nas suas condições específicas, não cabendo generalizações. Um aspecto que convém ressaltar é o fato de a área disponível para as superfícies vegetadas ser maior para as paredes verdes (12.052 m<sup>2</sup>) do que para os telhados (8.012 m<sup>2</sup>), podendo ser um fator que interferiu nos resultados melhores das paredes, na redução de temperatura e de PMV ao nível do pedestre. Outro fator que pode ter interferido influência dos telhados verdes nível do pedestre é o fato de os edifícios estudados serem altos, situação em que telhados verdes têm maior influência sobre a temperatura interna das edificações. Feitas estas ressalvas, apresenta-se a síntese dos resultados encontrados nas simulações.

Ao analisar os mapas de temperatura do ar dos cenários: atual e com telhado verde, observou-se que em todos os horários as “manchas” de cores, que representam a distribuição dos valores de temperaturas, se mantiveram. Ou seja, quase não houve variação de temperatura. Entretanto na análise das diferenças entre os mapas do cenário atual e das paredes verdes, no horário das 9 e 15 horas, verifica-se alterações das “manchas” de cores, de forma constante em todo o mapa, indicando diminuição constante nas áreas. No horário das 19 horas, a alteração é diferente, observa-se uma modificação em todo o mapa de 1,3 ° C, indicando que a influência da técnica não se limita às proximidades da aplicação da mesma. A partir dos mapas gerados, verifica-se que é no horário da manhã que ocorrem as alterações mais extremas para a variável temperatura do ar. Essas diferenças podem ser observadas tanto entre pontos da mesma área, apresentando valores médios de 2,5°C e em horário específico, apresentando diferença de até 4,3 ° C no horário das 11 horas. Com base em tal análise, pode-se verificar que as interferências das fachadas não se limitam à largura das fachadas, mas abrangem toda região do cânion urbano (Figuras 78,79 e 80).

Para a umidade relativa, nos horários de 9 horas e 15 horas, a influência do telhado verde se limitou à frente dos edifícios, à área leste da imagem do mapa e a área sul, atrás das menores edificações do trecho, com até 3 pavimentos. No horário das 19 horas, não ocorreram significativas mudanças nos mapas. Entretanto, para o cenário das fachadas verdes ocorreram diferenças maiores nos mapas em todos os horários. Verifica-se, portanto, que a fachada verde é capaz de aumentar a umidade relativa ao longo do dia, sendo a maior influência durante a tarde (Figuras 82,83 e 84).

Com relação à ventilação urbana, notou-se a interferência do efeito da canalização dos ventos na área a direita do mapa, onde as edificações possuem praticamente as mesmas alturas. Esse fato está associado também a orientação das edificações em relação à direção do vento dominante. Por meio dos mapas gerados, observa-se, de uma maneira apenas indicativa, que a heterogeneidade de altura e largura dos edifícios pode favorecer a ventilação. No caso dos telhados verdes, as pesquisas sobre a sua influência no comportamento da variável do vento ainda são incipientes, o que dificulta a compreensão do efeito dessa tecnologia sobre o elemento climático. No presente estudo, os valores da velocidade do vento para os telhados verdes nos três horários da simulação – 9, 15 e 19 h – foram muito próximos, resultando em mapas com as mesmas características para os horários. Já para os mapas do cenário com fachadas vegetadas, possuem as menores velocidades de vento no contorno das edificações e, também, na rua lateral, indicando que as inserções das fachadas verdes atenuam os valores de velocidade do vento (Figuras 86,87 e 88).

O índice MRT, no cenário atual, apresentou pouca alteração em comparação com os mapas dos cenários dos telhados verdes, entretanto, para as fachadas verdes, observa-se grande variação em todo o mapa, demonstrando que a influência da técnica abrange todo o cânion urbano (Figuras 90,91 e 92).

O índice PMV não obteve grande alteração quando inseridos os telhados vegetados. Já para a fachada verde, o índice demonstrou maiores influências nos horários das 9 e 15 horas, principalmente neste último horário, com diminuição de 02 pontos na escala de sensações. (Figuras 94,95 e 96).

Para o índice PPD, praticamente não houve alterações com a utilização do telhado vegetado para os horários analisados. Os mapas gerados pela inserção das paredes verdes demonstram forte influência em toda a área, diminuindo até 02 pontos na escala de ASHRAE (Figuras 98,99 e 100).

Apesar dos resultados se mostrarem coerentes com relação aos dados de saída, o programa ENVI-met possui algumas limitações que foram observadas durante as simulações: i) a modelagem da área urbana está restrita ao formato de grades, alterando formas arredondadas ou curvas; ii) o programa não possui um banco de dados de tipos de vegetação de telhados e fachadas verdes; iii) não considera a taxa de transmitância térmica das paredes e telhados.

No aspecto mais amplo do estudo, os cenários com a inclusão da vegetação nas paredes demonstraram melhores condições de conforto térmico, na configuração urbana delimitada, comparando-se à inclusão de telhados verdes. Ressalta-se, novamente, que foi um resultado encontrado para as especificidades da área estudada, não cabendo generalizações.

A adoção de telhados verdes na estrutura urbana estudada não gerou valores significativos nos fatores climáticos, como a temperatura do ar e nos índices de conforto térmico na altura do pedestre. Chen *et al.* (2009) investigaram a possibilidade de diminuição da temperatura no nível da rua, por meio de simulação de telhados verdes extensivos em prédio médios e altos, usando um modelo denominado de CSCR. Os autores verificaram que o impacto é praticamente insignificante, por causa da altura dos edifícios. Resultados similares foram demonstrados no estudo de Ng *et al.* (2012) utilizando o ENVI-met. Os autores verificaram também que a influência de telhados verdes extensivos era quase nula. Esse fato ocorreu devido à altura elevada das edificações simuladas. O estudo concluiu que quanto maior for a relação entre a altura em relação à largura da via, menor é o grau de resfriamento no nível do pedestre.

Outro fator que pode explicar os resultados encontrados, deve-se ao período úmido simulado, de verão, quando as taxas de umidade já se encontram elevadas,

demonstrando essa interferência tal como se verificou no estudo de Rosseti *et al* (2013, p.1967) quando realizaram as análises dos telhados para estação da seca e úmida:

“(...).a presença da cobertura verde é capaz de otimizar as condições de conforto térmico no entorno da construção, elevando os níveis de umidade relativa e reduzindo a temperatura do ar, nas estações secas. Nas estações úmidas não se verificam interferências significativas da cobertura no microclima do entorno. ”

Esses resultados também são confirmados por meio de pesquisa experimental, conduzida por Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2013), que fez parte do programa francês vegDUD, que tem por objetivo pesquisar os efeitos da vegetação nas cidades, que demonstrou os resultados em uma escala reduzida de edifícios, destacando os efeitos radiativos, térmicos e higrométricos do uso de telhados e fachadas vegetadas no microclima urbano. Foi demonstrado que as paredes verdes podem reduzir o superaquecimento em um terço do cânion da rua, por meio da evapotranspiração, ou seja, as diferenças de temperaturas de noite e dia são diminuídas, torna-se mais constantes. Para os telhados verdes possuem a mesma condição, porém menos perceptível. Do mesmo modo, verificou-se que a utilização de fachadas vegetadas pode reduzir em 4º C a temperatura radiante média, que afeta diretamente o conforto térmico no cânion da rua.

Em estudo conduzido pelos mesmos autores em 2013, demonstrou que a direção dos fluxos de trocas térmicas como os fluxos de calor, as radiações de ondas curtas e longas, fluxos de calor sensíveis e os fluxos de calor latente é perpendicular ao envelope vegetativo do edifício. Ou seja, nos telhados verdes as trocas térmicas ocorrem acima do telhado enquanto que para as fachadas os fluxos ocorrem na direção das ruas. Além disso, ressaltou-se que as orientações das paredes possuem impacto na evolução da temperatura devido à maior ou menos absorção solar e intensidade de evapotranspiração.

As análises realizadas foram direcionadas à busca do entendimento da relação entre condições ambientais e o meio construído delimitado. Os resultados obtidos são

referentes aos locais analisados, por isso, as quantificações valem apenas para os pontos onde as simulações foram realizadas. Contudo, destaca-se a validação da metodologia aplicada que permite afirmar que os resultados podem ser aplicados a outros lugares que possuem um clima e uma forma urbana semelhante. Os índices apurados neste trabalho do cenário de paredes verdes mostraram não apenas que são mais eficazes que os telhados verdes para a regulação do microclima urbano como mostraram grande melhoria na delimitação urbana simulada.

A metodologia de simulação dos microclimas urbanos desenvolvida com a finalidade de obtenção de dados como forma de avaliar a influência de superfícies vegetadas, na melhoria da qualidade ambiental urbana, cumpriu seu objetivo aplicada no espaço territorial selecionado para o estudo de caso.

Por fim, pode-se concluir que os diferentes microclimas resultantes dos processos térmicos advindos pela proporção de superfície vegetada em cada cenário estudado, incluindo os fluxos de calor latente advindo do processo de evapotranspiração e o fluxo de calor sensível das superfícies das paredes são alterados com a inserção das superfícies vegetadas. Assim, os fenômenos das ilhas de calor podem ser atenuados pelos efeitos de transformação de energia, quando inseridas as fachadas verdes.

Em suma, conclui-se que os mecanismos da vegetação de atenuação de calor, no qual a radiação solar é absorvida, contribuem para a melhoria do conforto térmico urbano.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como escopo geral avaliar como as condições de interação entre espaço, clima e vegetação podem servir como atenuadores do clima urbano e para a melhoria da qualidade do meio construído. Esta pesquisa se preocupou em desenvolver o estudo das superfícies vegetadas no espaço urbano, como forma de amenizar as ilhas de calor em centros urbanos.

O estudo utilizou as simulações microclimáticas por meio de software. A partir dos mapas gerados foi possível compreender as modificações e interferências que as superfícies vegetadas trouxeram para a área construída. Para tanto, estudos sobre o comportamento do clima urbano devem envolver uma perspectiva dinâmica, o que consiste na inclusão das variáveis climáticas analisadas em conjunto com o desenho urbano e como esses fatores influenciam no conforto térmico. As simulações computacionais se enquadram nesse aspecto, pois se mostram coerentes, ao permitirem correlacionar as características do clima da área selecionada com os resultados do programa, quanto aos parâmetros de temperatura do ar, velocidade dos ventos, umidade relativa do ar.

Com o intuito de aumentar o conhecimento sobre critérios como os dados mais específicos sobre os elementos do clima e conforto térmico, foram realizados estudos com abordagens de outras disciplinas, a fim de complementar os trabalhos sobre a utilização do *software* ENVI-met. Em relação à ferramenta em si, o programa ENVI-met simulou valores correspondentes às características do local apresentado e os resultados obtidos pela análise demonstraram o potencial das fachadas verdes para regular o microclima urbano e o conforto térmico do pedestre para o caso específico estudado, mostrando-se uma solução eficaz para a vegetação em áreas urbanas, especialmente as consolidadas e com espaço limitado.

Considerando que o estudo teve como o foco o período de verão, recomenda-se a abrangência dessa aplicação na estação de seca, já que as alterações na umidade relativa e na temperatura do ar serão mais impactadas no inverno.



Recomenda-se, ainda, investigar qual seria o impacto caso se considere a aplicação das estratégias de forma combinada, como por exemplo, telhado verde juntamente com incremento de fachadas verdes, como também o impacto isolado das empenas cegas.

O escopo deste estudo se ateve a avaliar o potencial de mitigação de desconforto térmico em cânion urbano. Sendo assim, o estudo não se aprofundou sobre o impacto da quantidade e da direção das superfícies vegetadas em relação aos elementos climáticos. Assim, recomenda-se essa investigação acerca do comportamento das fachadas verdes explorando as diferentes áreas, geometrias e localização em relação à posição da radiação solar.

Diante de todo o exposto, é fundamental que o conforto térmico seja utilizado como critério de avaliação da qualidade de um determinado meio urbano e, ações para amenização dos problemas de ordem climática, como a utilização de superfícies vegetadas nas envoltórias dos edifícios, constituem medidas eficazes para reabilitação urbana, com foco no conforto do pedestre.

## REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V. *et al.* Fluência de diferentes configurações urbanas no conforto térmico em cânions urbanos de campinas, SP. Estudos de campo e simulações computacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014. Alagoas. **Anais...** Alagoas, 2014.

ALI-TOUDERT, F; MAYER, H. Effects of asymetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Solar Energy**, 81, p.742-754, 2007.

ALMEIDA, M. A. M. **Coberturas naturadas e qualidade ambiental**: Uma contribuição em clima tropical úmido. 2008. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Mestrado em Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo PROARQ, Rio de Janeiro, 2008

ALMUSAED, A.; ALMSSAD, A. Biophilic architecture: the concept of healthy sustainable architecture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 23, 2006, Geneve. **Anais...** Geneve, 2006.

ANDRADE, R. V. **Complexidade dinâmica: água, expansão urbana E espaços livres públicos - o processo de construção da paisagem do Parque Iguaçu - Curitiba - PR**. 2009. Tese (Doutorado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ANTONELLI, B. A. **Verificação da adequabilidade do modelo normalizado de conforto térmico utilizando a taxa metabólica determinada pelas sensações térmicas reais de usuários em ambientes industriais**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

ARAUJO, R. R.; SANT'ANNA NETO, J. L. **Conforto térmico e fator de risco à saúde em áreas de vulnerabilidade sócio espacial urbana em São Luís, MA**. Variabilidade e suscetibilidade climática: implicações ecossistêmicas e sociais. Goiânia-GO, 25 a 29 de outubro de 2016.

ARCHDAILY. **Edifício Consorcio Santiago / Enrique Browne + Borja Huidobro**. Disponível em: <<http://www.archdaily.pe/pe/02-14392/edificio-consorcio-sede-santiago-enrique-browne-borja-huidobro>>. Acesso em: nov. 2017.

ASSIS, E. S. **A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade**: reflexões sobre uma trajetória. Maceió, Alagoas: ENCAC-ELACAC, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3**: desempenho técnico de edificações. Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações - parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE. Standard 55: thermal environment conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004.

ASTM, E. **Standard practice for calculating solar reflectance index of horizontal and low-sloped opaque surfaces.** ASTM International, West Conshohocken, 1980.  
AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 16. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BARBEDO, A. S. C.; BIANCHI, C. G.; KELLER, L. R.; ORTEGA, M. G.; ORTEGA, S. E. H. **Manual técnico de arborização urbana.** 2ª. ed. São Paulo: Secretária Municipal de Meio Ambiente, 2005

BEATLEY, Timothy. **Handbook of biophilic city planning & design.** Island Press, 2017.

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, p. 1741- 1748, 2003.

BONATTO, D. A. M.; RANGEL, L. Corredores verdes urbanos para a conexão e requalificação de espaços livres públicos em Vitória - ES: estudo de viabilidade. In: V SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA/ II ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA URBANA/ II SIMPÓSIO DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE, 2015. Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, v. 1, p. 291-300, 2015.

BOZONNET, E. *et al.* Modeling methods to assess urban fluxes and heat island mitigation measures. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, 10, 62-77, 2015.

BRANCO, L. M. B.C. Microclimas urbanos no Plano Piloto de Brasília: o caso da Superquadra 108 Sul. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BRITTA, J. *et al.* Urban–rural differences in near-surface air temperature as resolved by the Central Europe Refined analysis (CER): sensitivity to planetary boundary layer schemes and urban canopy models. **International Journal Of Climatology**. (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.4835, 2015.

BRUSE, M. **Updated overview over envi-met 3.0.** Technical report, University of Bochum, 2004.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling and Software**, 13, 373–384, 1998.

BURCHETT, M. *et al.* Greening the Great Indoors for Human Health and Wellbeing. University of Technology Sydney. Sydney, Australia, 2010.

BULUT, Z. e YILMAZ, H. Determination of landscape beauties through visual quality assessment method: a case study for Kemaliye (Erzincan/Turkey). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 133, n. 1-3, 2007.

CARFAN, E. G.; NERY, J. T. **O efeito do sombreamento no conforto térmico estudo de caso:** cidade de São Paulo. II SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. Universidade de Coimbra, maio de 2010.

CARTER, T.; BUTLER, C. Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas. **Cities and the Environment**, v. 1, n. 2, 2008.

CHEN, H.; OOKA, R.; HUANG, H. T. T. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation. **Building and Environment** 44, 2290–2299.2009.

CORBELLA, O. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos:** Conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P.R.M. Infraestrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Rev. Paisagem e Ambiente**, São Paulo, n. 25, pp. 125-142, 2008.

CORTEZ, A. T. C., ORTIGOZA, S. A. G. **Da produção ao consumo:** impactos socioambientais no espaço urbano. São Paulo: Editora UNESP, Cultura Acadêmica, 2009. Disponível em: <<http://books.scielo.org>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

DANNI, I. M. A ilha térmica de Porto Alegre. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 8, n. 1, 1980.

DJEDJIG, R; BOZONNET, E; BELARBI, R. Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons. Int J Low-Carbon Tech 2015.

DUNNETT, N.; QASIM, M. Perceived Benefits to Human Well-being of Urban Gardens. **International Human Issues in Horticulture**, v. 10, n. 1, p. 40-45, jan. /mar. 2000.

DUFFIE, John A., BECKMAN, William A. **Solar engineering of thermal processes.** New York: John Wiley & Sons, 1980.

ECOTELHADO. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2013/09/Manual-e-especificac%C3%A7%C3%A3o-do-Sistema-Alveolar-Grelhado.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2016.

ELNABAWI, M. H.; NEVEEN, H.; STEVEN, D. **Use and evaluation of the ENVI-met model for two different urban forms in Cairo, Egypt**: measurements and model simulations. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, França. 2013.

FANGER, O. **Thermal comfort**: analysis and application in environmental engineering. Copenhagen, McGraw-Hill, New York, 1972.

FERRAZ, L. L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**: arquitetura e urbanismo. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia o clima da camada de ar junto ao solo**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. New York: John Wiley e Sons, 1969.

GOOGLE EARTH PRO. **Imagens de satélite de março de 2017**. Disponível em: <[http://www.agrogemeos.com.br/mapa\\_de\\_vitoria.html](http://www.agrogemeos.com.br/mapa_de_vitoria.html)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

GOOGLE MAPS. **Avenida Jerônimo Monteiro, Centro, Vitória**. Disponível em: <[//maps.google.com/maps](https://maps.google.com/maps)>. Acesso em: 22 abr. 2016.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Portal do Governo do Estado do Espírito Santo**, 2011. Disponível em: <<http://www.es.gov.br/site/home/index.aspx>>. Acesso em: 22 dez. 2011.

GONÇALVES, A.; CAMARGO, L.S.; SOARES, P. F. Influência da vegetação no conforto térmico urbano: estudo de caso na cidade de Maringá –Paraná. In: **Simpósio de Pós-graduação em Engenharia urbana**, 3, Maringá. Anais... Maringá: UEM, 2012. Disponível em: <<http://www.eventos.uem.br/index.php/simpgeu/simpgeu/paper/view/970/585>>. Acesso em: 08 dez. 2017.

GOULART, S.; BARBOSA, M.; PIETROBON, C. E.; BOGO, A.; PITTA, T. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações visando o conforto térmico**. Relatório interno 02/94, NPC - UFSC, Florianópolis, 1994.

GREEN ROOFS. **Green roofs for healthy cities**. Disponível em: <[www.greenroofs.org](http://www.greenroofs.org)>. Acesso em: 22 nov. 2016.

GREEN ROOFS. Introduction to Green Walls Technology, Benefits and Design. Estados Unidos: Greenroofs org, 2008.

GRINDE, B; PATIL, G.G. Biophilia: does visual contact with nature impact on health and well-being? Int. J. Environ. **Res. Public Health**. 2009.

GSKY PLANT SYSTEM. **Gallery**. Disponível em: <<http://gsky.com/gallery/>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

GULYÁS, A.; UNGER, J.; MATZARAKIS, A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements, **Building and Environment**, 41, 1713-1722, 2006.

HARTIG, T.; STAATS, H. Guest editors' introduction: restorative environments. **Journal of Environmental Psychology**, 23(2), 103-107, 2003.

HEDQUIST, B. C. *et al.* Phoenix urban heat island experiment: micrometeorological aspects. In: SYMPOSIUM ON THE URBAN ENVIRONMENT, 8, 2009, Phoenix. **Anais...** Phoenix: American Meteorological Society, p. 1-6, 2009.

HERZOG, C, P. ROSA, L. Z. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Rev. LABVERDE**, São Paulo, v.1, n.1, p. 91-115, 2010.

HERZOG, C. P. **Cidades para todos**: (re) aprendendo a conviver com a natureza. Rio de Janeiro: Mauad X Inverde, 2013.

HERZOG, T. R. A cognitive analysis of preference for urban nature. In: SINHA, A. (Org.). **Landscape perception**. San Diego: Academic Press, 1995, p. 65-82.

HUMPHREYS, M. A. **Field studies of thermal comfort compared and applied**. BRE Current Paper, 75/76, London, UK, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. Disponível em: Acesso em: 10 dez. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Prognóstico climático**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 02 set. 2016.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=sh>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730. **Ergonomics of the thermal environment**: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Switzerland, 2005.

JAKUES, J. L.; NASCIMENTO, F. H. N.; CUPERTINO, W. **Análise geográfica do campo termo higrométrico**: estudo de caso no Campus da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES. Variabilidade e susceptibilidade climática: implicações ecossistêmicas e sociais. Goiânia-GO, 25 a 29 de outubro de 2016.

JESUS, R. J.; COELHO, A. L. N. Análise do campo térmico do município de Vitória através de produtos Landsat8/TIRS/OLI. **Anais XVII**, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), João Pessoa-PB, Brasil, INPE, 25 a 29 de abril de 2015.

KAPLAN, S. The restorative benefits of nature: Towards an integrative framework. **Journal of Environmental Psychology**, v. 15, n. 1, p. 169-182, 1995.

KAPLAN, R. Impact of urban nature: A theoretical analysis. **Urban Ecology**, 8(3), 189-197, 1984.

KAPLAN, R.; KAPLAN, S. **The experience of nature**: a psychological perspective. New York: Cambridge University Press, 1989.

KELLERT, S.; WILSON, E. O. **The biophilia hypothesis**. Washington, DC: Island Press, 1993.

KELLERT, S. **Birthright**: people and nature in the modern world. New Haven: Yale Press, 2012.

KATZSCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IV, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador. p. 49-58, 1997.

KATZSCHNER, L. *et al.* Strategies and concepts for thermal comfort discussions in urban planning to mitigate the impacts of climate extremes. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 24, 2007, Singapore. **Anais...** Singapore: PLEA, p. 103-108, 2007.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; LAAR, M. **Roof gardens in Brazil**. RIO 3 – World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, 2003.

KOLOKOTSA, D. *et al.* Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures, **Solar Energy**, vol. 86, nº. 5, pp. 1648-1659, 2013.

LAAR, M. *et al.* Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC, 6. **Anais...** São Pedro, São Paulo, 2001.

LABAKI, L. C. *et al.* Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 23-42, 2011.

LAHME, E.; BRUSE, M. **Microclimatic effects of a small urban park in a densely build up area**: measurements and model simulations. University of Bochum,



Bochum, Germany. ICUC5, Lodz 1-5, september, 2003, 4 pages. Disponível em: <<http://www.envi-met.de/scidocs.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R. **Conforto e stress térmico**. LabEEE, UFSC, 2016.

LAMBERTS, R. *et al.* **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**: desempenho térmico de edificações. Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas Florianópolis: LABEEE/UFSC, 2011.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. Nova York: Academic Press, 1981.

LANDSBERG, H. E. **The climate of towns. Man 's role in changing the face of the earth**, Hutchinson, Londres, p. 584-603 ,1956.

LIMA JUNIOR, J.E. **Avaliação da influência de um sistema de fachada viva: o estudo de caso da planta sphagneticola trilobata em condições de inverno de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, 2014.

LIMA, G. Co. Apropriações transitórias do espaço público: a paisagem e os ambulantes no Centro de Vitória - ES. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes, 2011.

LIMA, N. R.; PINHEIRO, G. M.; MENDONÇA, F. Clima urbano no brasil: análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v.2, N.5, p. 626-638. 2012.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. T. A importância das áreas verdes para qualidade ambiental das cidades. **Revista Formação**, n. 13, p. 139-165, 2012.

LOBODO, C. R., DE ANGELI, B. L.D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência** - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, v. 1, nº 1, jan./jun. 2005.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Editora Hucitec, 1985.

LOTUFO, J. O. Forma e fluxo: A natureza na cidade em duas tendências. **Revista LABVERDE**, São Paulo, n. 6, p. 59-83, jun. 2013. ISSN 2179-2275. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61878>>. Acesso em: 02 out. 2016.

MACIEL, C. R. **Análise da relação entre características do ambiente urbano e comportamento de variáveis microclimáticas**: estudo de caso em Cuiabá-

MT.127f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

MANSO, M.; GOMES, J. P. C. Green wall systems: A review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, n. 1, p. 863-871, 2015.

MARTINI, A. **Microclima e conforto térmico proporcionado pelas árvores de rua na cidade de Curitiba-PR**. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MARTIN, Y.; KNOOPS, I. Introduction Aims and goals of a Belgian Green Facade project proposal. **BBRI / ENBRI Workshop** 12 nov. 2014.

MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Sagra, DC Luzzatto, 1996.

MASCARÓ, J. J. Evolução da cobertura vegetal e seus impactos energético-ambiental em Porto Alegre, RS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 2006, Florianópolis. **ANAIS...** Florianópolis: ANTAC, 2006. P. 1 - 10.

MASCARÓ, J. J.; BONATTO, D. A. M. **A tecnologia adequada como critério de projeto de infraestrutura sustentável**. In: IV SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA e I Encontro Nacional de Tecnologia Urbana, Rio de Janeiro, 2013. ANAIS, SIMPGUEU, 2013

MARTINS JÚNIOR, O. P. Uma cidade ecologicamente correta. Goiânia: A.B., 1996.

MEIASEIS.COM. **Pintura e arquitetura de Friedensreich Hundertwasser** (Áustria). Disponível em: <<http://meiaseis.com/blog/pintura-e-arquitetura-de-friedensreich-hundertwasser-austria/>>. Acesso em: 08 jul. 2016.

MENDES, B. H. E. **Tetos verdes e políticas públicas**: uma abordagem multifacetada. Dis. Universidade de São Paulo, 2014.

MICHAELIS 2000. **Moderno dicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 1998.

MILANO, M.S. **Avaliação e análise da arborização de ruas de Curitiba-PR**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 1984.

MINAKI, C.; AMORIM, M. C. C. T. Espaços urbanos e qualidade ambiental: um enfoque da paisagem. **Revista Formação**, nº14, v. 1, p. 67-82 67, 2011.

MINKS, V. The green urban design network a sustainable alternative for megacities? **Revista Labverde**, [S.l.], n.7, p.120-141, 2013

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo, Contexto, 2003.

MONTEIRO, C. A. F. (Orgs.) **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC/UFMG, p. 1221-1230, 2007

\_\_\_\_\_. Modelo adaptativo de conforto para avaliação in loco de espaços urbanos abertos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 61-79, jan./mar. 2012.

\_\_\_\_\_. Índices de Conforto Térmico para Espaços Abertos Parte 1: estado da arte. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., Maceió, Anais... ENTAC. p. 1211-1220, 2005.

MUNEROLI, C, C; MASCARO, J, J. Arborização Urbana: Uso de Espécies Arbóreas Nativas na Captura do Carbono Atmosférico. **REVSBAU**, v.5, n.1, p.160-182, 2010.

NAGASE, A.; DUNNETT, N. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. **Landscape and urban planning**, 97(4), 318-327, 2010.

NAKATA, C.; SOUZA, L. C. L.; FARIA, J. R. G. **Simulação da Sensação Térmica do Pedestre**. XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

NG, E., CHEN, L., WANG, Y., YUAN, C., 2012. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong. **Building and Environment**, v. 47, p.256–271.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563-572, jul. 2002.

NIKOLOPOULOU, M; LYKOUDISB, S. Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different european countries. **Building and Environment**, v. 41, n. 11, p. 1455-1470, 2006.

NIKOLOPOULOU, M. **Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach**. RUROS: Rediscovering the urban real and open spaces. CRES – Centre for Renewable Energy Sources, Department of Buildings, Greece, 2004.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NINCE, P. C. C. **Vegetação e revestimentos urbanos**: implicações na sensação térmica dos usuários do campus da UFMT em Cuiabá-MT. 2013.

NOGUEIRA, A.M.P. **Configuração urbana e microclimas: estudo em loteamento horizontal de Maceió-Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo:

Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2011.

OBERNDORFER, E. *et al.* Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. **Architectural Science Publications and Research**, 2007.

OKE, T. R. Climate of cities. **Climate in Human Perspective**. Springer Netherlands, 61-75, 1991.

OKE, T. R. Boundary layer climate. London, Methuen & LTD, A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York 1987.

\_\_\_\_\_. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **IOM Report**, TD. in press, World Meteorological Organization, Geneva, 2004.

OKE, T.R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World Meteorological Organizations: Report N.81, Instruments and observing methods. 2006. Disponível em: <<https://www.wmo.int/pages/prog/...81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2017.

OLGYAY, V. **Clima y arquitectura en Colômbia**. Colômbia: Universidad del Valle, 1968.

\_\_\_\_\_. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. 2. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

OLIVEIRA, P. M. P. **Cidade apropriada ao clima**: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade de Brasília, Brasília, 1988.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados verdes para habitações de interesse social**: retenção das águas pluviais e conforto térmico. Rio de Janeiro, 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ONG, B. L. Green plot ratio: an ecological measure for architecture and urban planning. Department of Architecture, School of Design and Environment, National University of Singapore, Singapore. **Landscape and Urban Planning** 63 (2003), 197–211, 2012.

OSMUNDSON, T. **Roof gardens**: history, design, and construction. New York: Norton & Co.1999.

PAULA, R.Z.R. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. Dissertação de Mestrado, Campinas, S.P, 2004.

PAULA, M.L.M. **Comparação do campo térmico do município de Vitória – ES, em relação às alterações de uso e ocupação do solo urbano em 1991 e 2011**. Trabalho de conclusão do Curso de Geografia, Universidade Federal do Espírito

Santo, 2015.

PECK, S. W. *et al.* **Greenbacks from green roofs**: forging a new industry in Canada. Canada Mortgage and Housing Corporation. 1999. Disponível em: <<http://www.greenroofs.org>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

PENG, L. L. H.; JIM, C. Y. Green-Roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. **Energies**, v. 6, n. 2, p598-618, 201, 2013.

PENTEADO, H. M.; ALVAREZ, C. E. Corredores verdes urbanos: estudo da viabilidade de conexão das áreas verdes de Vitória. **Paisagem e Ambiente**, (24), 57-68, 2007.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 31-51, jan./mar. 2010.

PEZZUTO, C. C. *et al.* Análises do microclima urbano através de medições experimentais e simulações no programa Envi-met. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1-10. 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: 2011.

PÉREZ, G. *et al.* Behavior of green facades in Mediterranean Continental climate. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 4, p. 1861-1867, 2011.

PÉREZ-URRESTARAZU, L. *et al.* Vertical Greening Systems and Sustainable Cities. **Journal of Urban Technology**, DOI: 10.1080/10630732.2015.1073900, 2016.

PERINI, K.; MAGLIOCO, A. The Integration of Vegetation in Architecture, Vertical and Horizontal Greened Surfaces. **International Journal of Biology**, 2012.

Pillar, V.D. Clima e Vegetação. Porto Alegre. Disponível em: <<http://ecoqua.ecologia>.ufrgs.br>. UFRGS, 1995.

PERINI, K.; OTELLÉ, M.; FRAAIJ, A.L.A; HASS, E.M.; RAITERI, R. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. **Building and Environment**. 2287-2294. Elsevier, 2011.

PIPPI, L. G. A.; AFONSO, S.; SANTIAGO, A. **A contribuição das áreas verdes no desenho urbano ambiental**. III ENECS – Encontro Nacional sobre edificações e Comunidades Sustentáveis, 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA (PMV). 2017. Disponível em: <[http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/Dados/localizacao\\_vitoria\\_espiritosa.pdf](http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/Dados/localizacao_vitoria_espiritosa.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2016.

RALMADES, R. A. C. **Influência da Vegetação no Conforto Térmico do Transeunte**: estudo de caso em via com canteiro central em Vitória, ES. Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

ROCHA, S. A.; LOUGON, M. S.; GARCIA, G. de O. Influência de diferentes fontes de poluição no processo de eutrofização. **Revista Verde**, v. 4, n. 4, p. 1-6, 2009.

RODRIGUES, E. A. N.; ALVAREZ, C. E. Método de avaliação de desempenho para janelas em residências multifamiliares em Vitória-ES: ênfase no conforto proporcionado pela ventilação. **Habitat Sustentable**, v.1, p. 14-24, 2011. Disponível em:< <http://revistahabitatsustentable.cl/inicio.html>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. São Paulo: Projeto, 1988.

\_\_\_\_\_. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 2001.

\_\_\_\_\_. **Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília**. FÓRUM - Mudanças climáticas e o impacto das cidades; vol. 4, nº. 1, 2011. Disponível em: <[http://www.forumpatrimonio.com.br/view\\_full.php?articleID=194&modo=1](http://www.forumpatrimonio.com.br/view_full.php?articleID=194&modo=1)>. Acesso em: 16 jul. 2016.

ROSSETI, K. A. C. **Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-met**. 2013. 253 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOQUEIRA, J. S. Interferência microclimática na utilização do telhado verde para regiões tropicais: estudo de caso em Cuiabá, MT. **Rev. Elet. Em Gestão, Educação e Tecnologia ambiental** v. 9, n. 9, p. 1959-1970, 2013

ROSSI, F. A.; MINELLA, F. O.; KRÜGER, E. L. Conforto térmico em espaços abertos: Resultados de um estudo piloto em Curitiba. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

SANT'ANNA NETO, J. L.; AMORIM, M. C. C. T. **Clima urbano e segregação sócio espacial em cidades tropicais de porte médio**. EGAL, Montevideu, 2009.

SANTOS, R, M. Morfologia urbana e conforto térmico. IN: 2º Seminário de Integração, São Paulo, 2004.

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, vol. 2, n. 2. jan./jun. 2014.

SHEWEKA, S. M.; MOHAMED, N. M. Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change. **Energy Procedia**, 2012.

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. Dissertação de Mestrado – FAUUSP, São Paulo, 2009.

SILVA, F. T. **Conforto térmico do transeunte**: a porosidade urbana como condicionante da ventilação. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SILVA, C. F.; ROMERO, M. A. B. **Desempenho ambiental de vias públicas quanto ao conforto térmico urbano**. Estudo de caso: Teresina – Piauí -Brasil. Pluris, 4º CONGRESSO PARA O PLANEAMENTO URBANO, REGIONAL, Integrado e Sustentável, que terá lugar na Universidade do Algarve, em Faro, entre os dias 6 a 8 de outubro de 2010.

S3I GROUP. **Stainless steel solutions**. Disponível em: <[www.s3i.co.uk](http://www.s3i.co.uk)>. Acesso em: 08 jul. 2016.

SOUZA, S. M.; SILVA, A. G. Influência da vegetação no comportamento da temperatura do ar, na cidade de Vitória, ES. In: XI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO; 2007; São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2007.

STOVIN, V. The potential of green roofs to manage urban stormwater. **Water and Environment Journal**, v. 24, n. 3, p. 192-199, 2010.

SZEREMETA, B.; ZANNIN, P. H. T. A importância dos parques urbanos e áreas verdes na promoção da qualidade de vida em cidade. **Revista Espaço Geográfico em Análise**, v. 29, p.177-193. Curitiba, 2013.

TAKENAKA, V. M.; FARIA, J. R. G. Análise da qualidade do ambiente térmico das vias públicas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ENCAC, 2003. 1 CD-ROM.

TIMUR, O.; KARAKA, E. **Vertical Gardens, chapter 22**. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5772/55763>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

TZOULAS, K. et al. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: a literature review. **Landscape and urban planning**, 81.3: 167-178, 2017.

ULRICH, R. S. *et al.* Stress recovery during exposure to natural and urban environments. **Journal of environmental psychology**, v. 11, n. 3, p. 201-230, 1991.

ULRICH, R. S. Natural versus urban scenes: Some psychophysiological effects. **Environment & Behavior**. v. 13, n. 1, p. 523-556, 1981.

ULRICH, R. S. Influence of garden on health outcomes. In **Proceedings of American Society of Landscape Architects Annual Meeting**, Therapeutic Gardens Forum, Missouri Botanical Garden, St Louis, MI, USA, 2000.



UNIVERSIDADE DE WYOMING. College of Engineering. Departamento of Atmospheric Science. Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html/>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

VALESAN, M. Percepção ambiental de moradores de edificações residenciais com Pele-Verde em Porto Alegre. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

VENDRASCO, E. P.; FREITAS, E. D. de; DIAS, P. L. S. **Separação de fatores para estudo dos efeitos do albedo e emissividade sobre o ciclo diurno de temperatura.** Disponível em: <<http://principo.org/separaco-de-fatores-para-estudo-dos-efeitos-do-albedo-e-emissi.html>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

VIDAL, M.B; MORETTI, R.G.; AMORIM, M.C.T.C. Clima e qualidade ambiental urbana em Jales/SP: análise em episódio de primavera. VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, **Anais...** Vitória, 2014.

VILELA, J. A. **Variáveis do clima urbano:** análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere, Belo Horizonte, MG, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Minas Gerais, Escola de Arquitetura, 2007.

WILLES, J. A. **Tecnologia em telhados verdes extensivos:** meio de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do Sistema. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, 2014.

WILSON, E. O. Biophilia: the Human Bond with Other Species. Cambridge: Harvard University Press, 1986.

YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 31, p. 7266-7273, oct. 2008.